



Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд
International EcoSocial Innovation Fund

Видавець / Publisher

Наукова серія «ІнПлатформа»

Scientific Series “InPlatforma”

**Багатомовний мультидисциплінарний
науковий збірник «Збірник 1»**

**Multilingual multidisciplinary scientific collection
“Collection 1”**

Київ / Kyiv, 2026

ОРАС / короткий бібліотечний рядок:

Збірник 1 / Collection 1. Автор оригінальних наукових статей — Скочко Сергій, Попова Лілія, Пенькова Марина; автор похідного твору / укладач — Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд / International EcoSocial Innovation Fund. — [Електронне видання]. — Київ, 2026. — ISBN 978-617-8879-01-3. Мови видання: українська, англійська, іспанська, французька, німецька, португальська, японська.

Повний двомовний опис / Full bilingual description

Мультидисциплінарний науковий збірник у межах серії «ІнПлатформа»
Multidisciplinary Scientific Collection within the “InPlatform” Series

Мова видання / Language of Publication

Мультимовне видання / Multilingual edition

Українська (UKR), Англійська (ENG), Іспанська (ESP), Французька (FRA), Німецька (DEU), Португальська (PRT), Японська (JPN)

Тип видання / Type of Publication

Мультидисциплінарний науковий збірник (8 статей)

Multidisciplinary scientific collection (8 articles)

Авторські права та внесок авторів / Copyright & Authorship

Автор оригінальних наукових статей / Author of original scientific articles:

Скочко Сергій Анатолійович / Serhiy Skochko

Співавтори наукових статей / Co-authors of scientific articles:

Попова Лілія Миколаївна / Liliya Popova

Пенькова Марина Юріївна / Marina Penkova

Автор інтерпретацій / Author of interpretations:

Колективний проєкт. Укладач — Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд / International EcoSocial Innovation Fund

Першоджерело / Primary source:

Оригінальні наукові статті Сергія Скочка, Лілії Попової, Марини Пенькової /
Original scientific articles by Serhiy Skochko, Liliya Popova, Marina Penkova

Анотація / Abstract:

Анотація (UKR): мультидисциплінарний науковий збірник, що містить 8 статей різних напрямів. Колективна робота авторів та укладачів досліджує актуальні наукові питання, пропонує аналітичні огляди та методичні рекомендації для практичного застосування. Збірник сприяє розвитку міждисциплінарного підходу та інтеграції наукових знань у сучасну практику.

Abstract (ENG): This multidisciplinary scientific collection comprises 8 articles covering various fields. The collaborative work of the authors and the compiler investigates current scientific issues, provides analytical reviews, and offers methodological recommendations for practical application. The collection fosters the development of an interdisciplinary approach and the integration of scientific knowledge into contemporary practice.

Видавець / Publisher

Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд / International EcoSocial Innovation Fund

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців / Certificate of registration in the State Register of Publishers:

Серія ДК № 8563 від 23.01.2026 / Series DK № 8563 dated 23.01.2026

Міжнародні стандартні номери / ISBN

ISBN: 978-617-8879-01-3

Формат видання / Format of Publication

Електронна версія: PDF | EPUB / Electronic version: PDF | EPUB

Каталогізація / Cataloguing

Видання внесено до каталогів Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського (НБУВ) / Included in the catalogs of the Vernadsky National Library of Ukraine (NBUV)

Зміст / Table of Contents

Методологічний стандарт / Methodological Standard	[5]
Блок 1_Методологія та багатомовність / Block 1_Methodology and Multilingualism.....	[6]
1 – Методологія та багатомовність інтерактивних текстів / <i>Methodology and Multilingualism of Interactive Texts</i>	
[UA-9]; [EN-29]; [ES-48]; [FR-68]; [DE-87]; [PT-107]; [JA-126];	References [EN_47]
Блок 2_Клінічні кейси / Block 2_Clinical Cases.....	[146]
2 – Клінічний випадок синдрому Вольфа–Паркінсона–Вайта / <i>Clinical Case of Wolf-Parkinson-White Syndrome</i>	
[UA-147]; [EN-164]; [ES-181]; [FR-199]; [DE-216]; [PT-235]; [JA-252];	References [EN_179]
3 – Клінічний випадок менингіоми у пацієнта з WPW / <i>Clinical Case of Meningioma in a WPW Patient</i>	
[UA-269]; [EN-285]; [ES-301]; [FR-317]; [DE-334]; [PT-351]; [JA-367];	References [EN_299]
Блок 3_Соціально-інженерні підходи / Block 3_Socio-Engineering Approaches.....	[381]
4 – Інклюзивне середовище та потенціал розвитку / <i>Inclusive Environment and Development Potential</i>	
[UA-382]; [EN-400]; [ES-417]; [FR-434]; [DE-453]; [PT-472]; [JA-489];	References [EN_416]
5 – Теплова стійкість і маскування об'єктів / <i>Heat Resistance and Object Camouflage</i>	
[UA-506]; [EN-527]; [ES-545]; [FR-564]; [DE-583]; [PT-603]; [JA-621];	References [EN_544]
Блок 4_Інноваційні комплексні системи / Block 4_Innovative Complex Systems.....	[638]
6 – Мультидисциплінарні інновації у комплексних системах / <i>Multidisciplinary Innovations in Complex Systems</i>	
[UA-639]; [EN-659]; [ES-677]; [FR-695]; [DE-714]; [PT-734]; [JA-753];	References [EN_676]
Блок 5_Екологія громад / Block 5_Community Ecology.....	[774]
7 – Біоенергетика та управління відходами / <i>Bioenergy and Waste Management</i>	
[UA-775]; [EN-788]; [ES-800]; [FR-812]; [DE-825]; [PT-838]; [JA-850];	References [EN_799]
Блок 6_Юридичні та правові аспекти / Block 6_Legal and Regulatory Aspects.....	[862]
8 – Побутові конфлікти й кваліфікація домашнього насильства / <i>Domestic Conflicts and Qualification of Domestic Violence</i>	
[UA-863]; [EN-878]; [ES-892]; [FR-907]; [DE-922]; [PT-937]; [JA-951];	References [EN_891]
Підсумки і перспективи / Summary and Outlook	[965]

Методологічний стандарт / Methodological Standard

1. Базовий принцип / Core Principle

UA: Серія «ІнПлатформа» реалізує принцип багатомовної наукової комунікації, що ґрунтується на базовій мові — англійській.

- Якщо матеріал створюється англійською, він автоматично вважається базовим.
- Якщо оригінал написано іншою науковою мовою (українською, іспанською, французькою, німецькою, португальською, японською тощо), виконується переклад і наукове розширення англійською. Саме англійська версія надалі використовується як універсальна основа для всіх перекладів.

EN: The “InPlatform” series implements the principle of multilingual scientific communication based on a core language — English.

- If a material is originally written in English, it automatically becomes the base version.
- If the original is created in another scientific language (Ukrainian, Spanish, French, German, Portuguese, Japanese, etc.), it is translated and scientifically expanded into English. The English version then serves as the universal basis for all further translations.

2. Методологічні засади / Methodological Foundations

UA:

1. Оригінал — матеріал може бути створений українською, англійською або іншою науковою мовою.
2. Формування бази — якщо оригінал не англійський, здійснюється переклад і термінологічне уточнення англійською.
3. Переклади з бази — усі інші мовні версії формуються лише з англійської, а не одна з одної.
4. Семантичний переклад — пріоритет надано передачі змісту й логіки, а не буквальності.
5. Зворотна узгодженість — переклади звіряються з англійською базою, за потреби застосовується back-translation.
6. Міжнародні стандарти — англійська база адаптується до вимог Scopus, Web of Science та інших платформ.

EN:

1. Original — the material may be created in Ukrainian, English, or any other scientific language.
2. Base Formation — if the original is not in English, it is translated and terminologically refined into English.
3. Translations from the Base — all other language versions are produced directly from English, not from one another.
4. Semantic Translation — priority is given to conveying meaning and logic, not literal wording.
5. Reverse Consistency — translations are cross-checked with the English base, with back-translation applied if necessary.
6. International Standards — the English base is adapted to the requirements of Scopus, Web of Science, and other platforms.

3. Робочий процес / Workflow

UA:

1. Автор(и) подають оригінал.
2. Якщо він англійський — стає базою.
3. Якщо інший — перекладається й розширюється англійською в разі потреби.
4. Англійська версія проходить редагування та стандартизацію.
5. Переклади здійснюються тільки з англійської бази.
6. Виконується фінальна верифікація й публікація.

EN:

1. Author(s) submit the original.
2. If it is in English — it becomes the base.
3. If it is different, it is translated and expanded into English if necessary.
4. The English version undergoes editing and standardization.
5. Translations are made only from the English base.
6. Final verification and publication are performed.

4. Джерела / References

UA:

1. Кожна мовна версія матеріалу містить окремо оформлений список літератури, який відтворює повний перелік джерел оригіналу.
2. У випадку українського тексту це поєднання національних та міжнародних джерел.

3. В інших мовних варіаціях — переклад або адаптоване подання тих самих джерел відповідно до стандартів академічного цитування конкретної мови.
4. Рекомендується 7–15 ключових джерел для основного тексту.

EN:

1. Each language version of the material contains a separate bibliography, which reproduces the full list of sources in the original.
2. In the case of the Ukrainian text, it is a combination of national and international sources.
3. In other language variations, it is a translation or adapted presentation of the same sources in accordance with the standards of academic citation in a particular language.
4. We recommend 7-15 key sources for the main text.

5. Переваги / Advantages

UA:

1. Для авторів: достатньо якісного оригіналу однією мовою.
2. Для редакції: контрольований процес без накопичення помилок.
3. Для читачів: ідентичність змісту всіх мовних версій.
4. Для наукометрії: підвищення індексації та міжнародного визнання.

EN:

1. For authors: only one high-quality original is needed.
2. For editors: a controlled process without accumulated errors.
3. For readers: identical scientific content across all language versions.
4. For scientometrics: higher indexing potential and international recognition.

Блок 1_Методологія та багатомовність

Block 1_Methodology and Multilingualism

Цей розділ присвячений сучасним методологічним підходам у міждисциплінарних дослідженнях з акцентом на багатомовність і доступність. Мета – інтеграція різних методів і мовних практик для забезпечення точності, достовірності та ширшої комунікації результатів. Розглядаються принципи планування досліджень, вибору методів аналізу та інтерпретації даних у різних культурних і мовних контекстах.

This section is dedicated to contemporary methodological approaches in interdisciplinary research, with an emphasis on multilingualism and accessibility. Its aim is to integrate various methods and language practices to ensure accuracy, reliability, and broader communication of results. The section addresses principles of research planning, selection of analytical methods, and data interpretation across diverse cultural and linguistic contexts.

Особливу увагу приділено адаптації багатомовних публікацій, інтеграції наукових традицій і дотриманню міжнародних стандартів. Учасники набувають навичок розробки дослідницьких стратегій, ефективного використання міжмовних ресурсів та підготовки публікацій для міжнародної аудиторії. Передбачено створення доступних матеріалів, зокрема цифрових версій для програм читання та шрифту Брайля для людей із вадами зору.

Particular attention is given to adapting multilingual publications, integrating scientific traditions, and adhering to international standards. Participants gain skills in developing research strategies, effectively using cross-language resources, and preparing publications for an international audience. Provision is made for accessible materials, including digital formats for screen readers and Braille for people with visual impairments.

Такий підхід поєднує методологічну строгість, лінгвістичну гнучкість і універсальність подачі, підвищуючи наукову цінність дослідження та його застосування в академічному, практичному і соціальному контекстах. Окрему увагу приділено етичним і культурним аспектам наукової комунікації, точності перекладів та адаптації матеріалів для різних аудиторій.

This approach combines methodological rigor, linguistic flexibility, and universal accessibility, enhancing research value and applicability in academic, practical, and social contexts. Special attention is given to ethical and cultural aspects of communication, translation accuracy, and adaptation of materials for diverse audiences.

[UA_1]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Методологія та багатомовність інтерактивних текстів

Анотація

Методологія інтерактивного багатомовного подання текстових матеріалів формується як універсальний інструмент, здатний забезпечити створення, узгодження та поширення матеріалів різного типу — від наукових статей і монографій до літературно-мистецьких збірок, а також ділових і офіційних документів. Її унікальність полягає у поєднанні двох взаємопов'язаних аспектів: мовної універсальності та інтерактивної навігації. Такий підхід дозволяє долати бар'єри між різними науковими школами, культурними традиціями та адміністративними середовищами, створюючи єдину структуровану платформу для представлення інформації.

Основним принципом є використання базової мови, яка виконує роль центральної опори для всієї системи перекладів. Найчастіше цю роль відіграє англійська мова, оскільки вона є *lingua franca* міжнародної науки, освіти та ділового спілкування. Однак методологія не обмежується англійською: будь-який текст може бути створений іншою мовою — українською, французькою, німецькою, японською чи будь-якою іншою. Якщо ж оригінал не англійський, то він перекладається англійською і при цьому розширюється, уточнюється та доповнюється для формування повної базової версії. Саме ця базова версія надалі стає джерелом для перекладу на інші мови, що гарантує семантичну точність, термінологічну узгодженість і логічну цілісність усіх мовних варіантів.

Методологія передбачає багаторівневий контроль якості. По-перше, застосовується практика зворотного перекладу (*back-translation*), що дозволяє виявляти смислові відхилення між оригіналом та перекладом. По-друге, залучаються експерти-філологи й носії мови для здійснення стилістичної та культурної адаптації тексту. По-третє, відбувається стандартизація форматів: уніфікуються заголовки, нумерація, позначення, структура посилань і списків

літератури. Завдяки цим механізмам інтегровані матеріали можуть безперешкодно включатися до міжнародних наукометричних баз даних — Scopus, Web of Science, DOAJ — а також до офіційних багатомовних ділових, юридичних і культурних платформ.

У статті представлено принципи побудови базової мови, алгоритми перекладу й узгодження багатомовних версій, а також описано інтерактивні блок-схеми та таблиці для зручної навігації. Як приклади розглянуто наукові серії («ІнПлатформа») та літературно-мистецькі збірки (серія «Світло в душі»), однак універсальність запропонованого підходу дозволяє застосовувати його й у діловій, і в офіційно-документальній практиці. Особлива увага приділена перспективам універсалізації методики для будь-яких типів документів, де поєднання багатомовності, інтерактивності та стандартизації відкриває нові можливості ефективного використання інформації.

Таким чином, методологія інтерактивного багатомовного подання текстових матеріалів має стратегічне значення. Вона поєднує у собі стандартизацію та гнучкість, наукову точність і культурну різноманітність, локальні особливості й міжнародні стандарти. Її застосування сприяє як розвитку академічних досліджень, так і поширенню мистецьких і ділових практик у глобальному інформаційному просторі.

Ключові слова: багатомовне видання, інтерактивна навігація, базова мова, семантичний переклад, наукові та мистецькі серії, ділові документи, узгодження версій, міжнародні стандарти, Scopus, Web of Science, DOAJ, культурна адаптація, зворотний переклад.

Вступ

У сучасних наукових, професійних та культурних публікаціях одним із ключових аспектів є забезпечення високої якості перекладу, зручності навігації та універсальної доступності матеріалів. Особливої актуальності це набуває у багатомовних виданнях, де точність передачі смислу, структурованість подачі та інклюзивність для всіх категорій користувачів безпосередньо визначають ефективність комунікації та міжнародну видимість результатів.

Запропонована інтерактивна багатомовна методологія передбачає доступність матеріалів не лише для користувачів із нормальним зором, а й для осіб зі зниженим зором або повною втратою зору, що мають можливість використовувати спеціальні допоміжні засоби, включно з шрифтом Брайля та голосовими інтерфейсами. Такий підхід забезпечує високий рівень інклюзивності, поєднуючи принципи універсального дизайну з вимогами академічної та професійної комунікації.

Наукова новизна методології полягає у поєднанні трьох взаємодоповнюваних аспектів:

- оцінки семантичної точності перекладів, що дозволяє уникнути накопичення смислових похибок;
- інтерактивності навігаційних блоків, яка підвищує зручність користування та адаптивність матеріалів;
- доступності для осіб із порушеннями зору завдяки інтеграції спеціальних форматів і технологій.

Сучасна наукова, культурна та ділова комунікація неможлива без багатомовних матеріалів, адже глобальний інформаційний обмін передбачає взаємодію представників різних країн, наукових шкіл, культурних і адміністративних систем. У наукових публікаціях багатомовність сприяє підвищенню міжнародної видимості досліджень у наукометричних базах, таких як Scopus, Web of Science та DOAJ, забезпечуючи доступ до актуальних результатів широкому колу дослідників [1, 2]. У літературно-мистецьких збірках вона підтримує міжкультурний діалог і популяризацію авторських творів [3, 4]. У сфері ділових документів багатомовність є основою юридичної та адміністративної коректності, відповідності стандартам корпоративного управління та розвитку міжнародного партнерства.

Основні виклики багатомовного подання текстових матеріалів включають:

- алгоритми створення базової версії тексту з подальшими перекладами на інші мови з урахуванням семантичної точності та термінологічної узгодженості;
- механізми інтерактивної навігації між мовними версіями та структурними блоками;
- принципи контролю якості через зворотний переклад, експертну оцінку та стандартизацію форматів;
- адаптацію для користувачів із порушеннями зору шляхом інтеграції шрифту Брайля, голосових інтерфейсів та інших допоміжних засобів.

Таким чином, інтерактивна багатомовна методологія постає універсальним інструментом для наукових, культурних і ділових публікацій, поєднуючи точність, структурованість, доступність і інклюзивність у глобальному інформаційному середовищі.

Теоретичні засади інтерактивної багатомовності

Проблематика

Сучасна глобальна комунікація, міжнародна наукова, культурна та ділова діяльність вимагають створення матеріалів, які будуть зрозумілими та доступними для представників різних мовних і культурних спільнот.

Багатомовні матеріали часто стикаються з низкою ключових проблем, які можуть впливати на їхню якість та ефективність:

- Накопичення неточностей при послідовному перекладі. Коли матеріали перекладаються багатокроково з оригінальної мови на інші, можливе виникнення помилок, які змінюють первісний зміст, особливо у наукових чи технічних текстах [5].
- Втрати семантики та логічної цілісності. Кожен етап перекладу може змінювати структуру речень та переносити акценти смислу, що призводить до фрагментації тексту та спотворення ключових ідей [6].
- Невідповідність стилю, формату та термінології. Різні типи текстів — наукові, юридичні, літературні — мають свої стандарти форматування, стилістичні правила та точну термінологію. Відхилення від них знижує зрозумілість, авторитетність та академічну чи професійну цінність матеріалів [4, 7].

Підходи до вирішення

Для подолання цих проблем пропонується комплексна методологія, яка поєднує мовну універсальність, семантичну точність та інтерактивні технології:

- Базова мова. Одна мовна версія — зазвичай англійська — служить центральною опорою для всіх подальших перекладів. Це забезпечує термінологічну узгодженість і мінімізує викривлення змісту при перекладі на інші мови.
- Семантичний переклад. Підхід, що зберігає зміст тексту не лише на лексичному рівні, а й у логічних та концептуальних взаємозв'язках [2].
- Контроль якості. Включає зворотний переклад, експертну оцінку лінгвістів та носіїв мови, а також перевірку відповідності форматування і структурних елементів для забезпечення стилістичної та культурної адаптації тексту [1, 8].
- Інтерактивна навігація. Використання кнопок, символів або гіперпосилань дозволяє легко перемикатися між мовними версіями та структурними блоками матеріалу, підвищуючи зручність використання [3, 9].

Алгоритм підготовки інтерактивних багатомовних матеріалів

Наукові тексти:

- Створення базової версії: оригінальний матеріал перекладається англійською, із уточненням термінології, додатковими поясненнями та структурною оптимізацією.
- Переклад на інші мови: усі подальші переклади виконуються безпосередньо з базової англійської версії, що забезпечує високу семантичну точність.

- Інтерактивна навігація: символи або кнопки вказують на наявні мовні версії, дозволяючи інтуїтивно перемикатися.
- Контроль якості: зворотний переклад та експертна перевірка мінімізують помилки та викривлення [8].

Літературно-мистецькі тексти:

- Оригінальний текст: створюється українською або іншою національною мовою.
- Переклади: виконуються англійською, французькою, німецькою, італійською, іспанською та іншими мовами з урахуванням стилістичних та культурних особливостей.
- Інтерактивна навігація: кнопки дозволяють швидко переходити між мовами та розділами тексту.
- Форматування: текст може відображатися у одну або дві колонки, адаптовано для різних платформ і форматів читання [10].

Ділові та офіційні документи:

- Створення базової версії: оригінальні документи перекладаються англійською з дотриманням міжнародних стандартів форматування, нумерації, заголовків та посилань.
- Переклад на інші мови: здійснюється безпосередньо з англійської, з урахуванням юридичних, адміністративних та професійних вимог цільових аудиторій.
- Інтерактивна навігація: кнопки або символи забезпечують ефективне перемикання між мовними версіями.
- Стандартизація форматів: гарантує відповідність міжнародним нормам і корпоративним політикам [4, 7].

Практичне застосування:

- Серія «ІнПлатформа»: інтеграція наукових матеріалів у багатомовну платформу; інтерактивні таблиці та кнопки навігації підвищують доступність.
- Серія «Світло в душі»: літературно-мистецькі тексти адаптовані для багатомовного читання, включаючи колонтитули, інтерактивні кнопки та структуровані блоки.
- Ділові документи: стандартизовані англійські версії використовуються як база для перекладів; інтерактивна навігація забезпечує доступ для міжнародних користувачів.

Комплексний підхід забезпечує високий рівень семантичної точності та стилістичної узгодженості, роблячи матеріали доступними для глобальної аудиторії. Він поєднує універсальність, інтерактивність і стандартизацію,

підвищуючи ефективність, зручність і охоплення багатомовних матеріалів у науковій, мистецькій та професійній сферах.

Переваги та інноваційність підходу

Методологія інтерактивної багатомовності являє собою комплексну систему, яка поєднує наукову точність, культурну адаптацію та технологічну інтеграцію. Цей підхід пропонує низку ключових переваг, застосовних до всіх типів текстових матеріалів — від академічних публікацій до літературних творів і професійних документів.

Узгодженість змісту та термінології

- Використання базової мови, яка слугує центральним еталоном для всіх перекладів, запобігає накопиченню помилок та ефекту «зіпсованого телефону», що часто спостерігається при послідовних перекладах на декілька мов.
- Семантичний переклад забезпечує збереження логічної послідовності, концептуальної узгодженості та смислу у всіх мовних версіях, гарантує, що ключові терміни, наукові поняття та культурні нюанси залишаються недоторканими при адаптації текстів для міжнародної аудиторії.
- Методологія значно підвищує точність і надійність академічних, професійних і художніх матеріалів, що особливо важливо для публікацій у наукометричних базах, міжнародних журналах та літературних серіях [1, 2].
- Забезпечується узгодженість стилю та форматування, що робить матеріали професійно структурованими та готовими до використання як у міжнародному, так і в локальному контексті.
- Завдяки підтримці концептуальної точності між мовами зменшується ризик неправильного тлумачення, що критично для юридичних, наукових і корпоративних комунікацій.

Інтерактивна навігація

- Інтеграція інтерактивних елементів, таких як кнопки, символи та гіперпосилання, дозволяє користувачам легко перемикаватися між різними мовними версіями та структурними блоками матеріалу.
- Це покращує користувацький досвід і доступність, надаючи можливість науковцям, студентам та професіоналам швидко переходити до необхідних розділів мовою, якою їм зручніше користуватися [3, 9].
- Інтерактивна навігація сприяє логічній організації контенту, полегшує навчання, дослідження та професійне використання і підтримує розвиток інтуїтивно зрозумілих цифрових платформ для багатомовного поширення інформації.

Підвищення видимості та цитованості

- Завдяки багатомовній структурі та стандартизованому форматуванню інтегровані матеріали легко включати до міжнародних наукометричних баз даних, таких як Scopus, Web of Science та відкритих репозиторіїв DOAJ, що значно підвищує їхню видимість і потенціал для цитування.
- Методологія легко адаптується для міжнародних літературних видань, освітніх платформ та корпоративних систем, розширюючи охоплення аудиторії і забезпечуючи ефективне поширення контенту у глобальному масштабі.
- Покращуючи відстежуваність і сумісність матеріалів, підхід також сприяє міжкультурній академічній співпраці та полегшує включення у світові наукові мережі.

Універсальність та застосовність

Запропонована методологія демонструє високу універсальність і придатна для широкого спектру матеріалів — від наукових і академічних публікацій до літературно-мистецьких творів, професійних та офіційних документів. Вона особливо ефективна у випадках, коли критично важливі точність, логічна структура та багатомовна доступність матеріалів.

Методологія забезпечує уніфікацію форматів, стилю, нумерації, таблиць і діаграм, водночас зберігаючи культурні особливості, жанрові нюанси та семантичну глибину оригінального тексту. Такий баланс дозволяє створювати глобально зрозумілі, але контекстуально автентичні матеріали, що важливо як для академічних, так і для мистецьких та професійних робіт.

Поєднання багатомовності, інтерактивності та стандартизації створює потужну платформу для ефективного обміну знаннями та комунікації. Інтерактивні елементи — наприклад, динамічні глосарії, адаптивні крос-посилання та пов'язані візуальні компоненти — дозволяють користувачам працювати з матеріалами різними мовами без втрати точності чи зручності сприйняття. Це сприяє міждисциплінарним дослідженням, міжнародній освіті та творчій співпраці.

Універсальність методології також дозволяє інтегрувати різноманітні типи текстів в єдину структуровану цифрову платформу. Наукові статті, літературні твори, офіційні звіти та мультимедійні анотації можуть співіснувати в єдиному інтерактивному середовищі, з'єднані уніфікованими метаданими, багатомовною індексацією та крос-посиланнями. Це забезпечує користувачам послідовний, інтуїтивний і доступний досвід незалежно від мови чи професійної сфери.

Методологія враховує вимоги міжнародних стандартів публікацій та протоколи метаданих (DOI, ORCID, MARC, Dublin Core), що забезпечує

сумісність із науковими базами, репозиторіями та культурними архівами, сприяючи довготривалому збереженню та доступності контенту.

На основі цих принципів реалізуються багатомовні інтерактивні схеми, що відображають взаємозв'язки між мовами, дисциплінами та типами контенту. Вони дозволяють наочно демонструвати не лише структурні, а й семантичні та культурні паралелі в єдиній інформаційній системі, підвищуючи зрозумілість і залученість користувачів (рис. 1).

Варіант 1 – короткий:

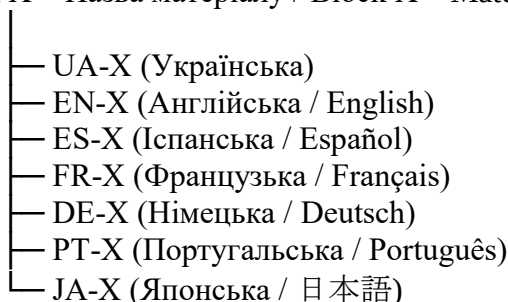
x – назва матеріалу / material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

Варіант 2 – з перекладом назви окремо:

x – назва матеріалу
x – material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

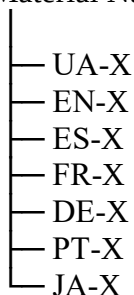
Варіант 3 – розгорнута схема з блоками:

Блок X – Назва матеріалу / Block X – Material Name



Варіант 4 – спрощена розгорнута схема:

X – Назва матеріалу
X – Material Name



Пояснення:

- [UA-X], [EN-X] — інтерактивні посилання на відповідні мовні версії.
- X — номер матеріалу чи сторінки або його порядковий блок у матеріалі.
- Така структура дозволяє універсально відображати будь-який матеріал, зберігаючи послідовність і стандартизацію.
- Підходить для наукових статей, літературно-мистецьких творів, ділових документів.

Рис. 1. Універсальний алгоритм структури матеріалів

Джерело: авторська розробка

Метою цієї статті є представлення універсальної методології інтерактивного багатомовного подання текстових матеріалів. Вона включає алгоритми створення базової версії тексту та подальшого перекладу на інші

мови з урахуванням семантичної точності та термінологічної узгодженості, а також механізми інтерактивної навігації між мовними версіями та структурними блоками матеріалу. Контроль якості забезпечується через зворотний переклад, експертну перевірку та стандартизацію форматів.

Для систематичної оцінки ефективності багатомовних матеріалів пропонуються кількісні показники. Семантична точність перекладів (St) дозволяє уникати накопичення смислових похибок та оцінювати відповідність термінології та фразеології встановленим стандартам. Водночас інтерактивність навігаційних блоків (In) визначає зручність переходу між мовними версіями та структурними елементами тексту, що підвищує загальну користувацьку цінність матеріалу.

Пропонований підхід ілюструє практичне застосування методології у різних типах публікацій: наукових серіях («InПлатформа»), літературно-мистецьких збірках («Світло в душі») та ділових документах. Це дозволяє забезпечити гнучкість, стандартизацію структури та формату, зберігаючи смислову точність, культурну автентичність та доступність контенту для всіх категорій користувачів, включно з особами зі зниженим зором або повною втратою зору, які користуються шрифтом Брайля або голосовими інтерфейсами.

Обґрунтування методології передбачає детальний аналіз навігаційних характеристик текстів у наукових, ділових та творчих матеріалах, що дозволяє визначити ключові показники структурованості та доступності та сформулювати універсальний підхід до оцінки інтерактивності та якості перекладів у багатомовних публікаціях (табл. 1).

1 Навігація для наукових, ділових та творчих матеріалів

Назва	UA	EN	FR	DE	ES	PT	JA
Розділ 1 / Material X	x	x	x	x	x	x	x
Розділ 2 / Material K	x	x	x	x	x	x	x
Розділ 3 / Material G	x	x	x	x	x	x	x
...	...	...	...	...	...	...	...

Пояснення:

- Кожен рядок відповідає окремому матеріалу (науковий, літературно-мистецький, діловий).
- Колонки UA, EN, FR, DE, ES, PT, JA — посилання на відповідні мовні версії.

Джерело: авторська розроба.

- Таблиця демонструє універсальність та інтерактивність навігації для будь-якого типу матеріалу, чи то серія наукових інтерактивних багатомовних публікацій, діловодство, чи літературно-мистецькі збірки та серії [1, 4, 10].

У сучасних наукових, професійних та культурних публікаціях критично важливим аспектом є забезпечення якості перекладу та зручності навігації матеріалів. Це особливо актуально для багатомовних видань, де точність

передачі смислу та структурована подача інформації безпосередньо впливають на сприйняття та ефективність комунікації. Для вирішення цих завдань запропоновано інтерактивну багатомовну методологію, яка поєднує системний підхід до оцінки перекладів із контролем навігаційної інтерактивності та забезпечує інклюзивність для всіх категорій користувачів, включаючи осіб із порушенням зору. Матеріали можуть бути адаптовані для використання із спеціальними допоміжними пристроями, такими як шрифт Брайля або голосові інтерфейси, що робить їх доступними для людей із слабким зором або повною втратою зору.

Підставою для оцінки якості перекладу багатомовних текстів є обчислення середнього коефіцієнта семантичної точності, що дозволяє запобігти накопиченню смислових помилок при багатомовному виданні (формула 1):

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1)$$

Де:

S_t - середній коефіцієнт семантичної точності;

C_i — оцінка точності перекладу i -го терміну або фрази (1 — повністю точний, 0 — втрачений зміст);

n — кількість термінів/фраз у тексті.

Використовується для оцінки якості перекладу та запобігання накопиченню смислових помилок при багатомовному виданні.

Джерело: авторська розробка.

Обчислення S_t забезпечує систематичну оцінку перекладів і дозволяє визначати рівень відповідності термінології та фразеології встановленим стандартам. На підставі цього показника можна не лише виявляти похибки, а й розробляти корекційні стратегії для підвищення точності перекладів у подальших версіях матеріалу.

Водночас оцінка ефективності навігаційних блоків забезпечує інтерактивність тексту та зручність користування. Для цього застосовується показник відсотка інтерактивності матеріалу (формула 2):

$$I_n = \frac{B_a}{B_t} \quad (2)$$

Де:

I_n - відсоток інтерактивності (наявність кнопок або символів для переходу);

B_a — кількість активних навігаційних блоків;

B_t — загальна кількість блоків у матеріалі.

Цей показник використовується для оцінки зручності навігації між мовними версіями та структурними блоками.

Джерело: авторська розробка.

На підставі цього показника здійснюється оцінка зручності переходів між мовними версіями та структурними елементами тексту. Високий рівень інтерактивності сприяє ефективній орієнтації користувача, полегшує доступ до інформації та підвищує загальну користувацьку цінність матеріалу.

Новизна запропонованого підходу полягає у тому, що обчислення показників *St* та *In* може бути застосоване також для адаптованих версій матеріалів для користувачів із порушенням зору. Наприклад, при інтеграції шрифту Брайля, голосових інтерфейсів або спеціальних навігаційних пристроїв можна оцінити:

- семантичну точність передачі інформації (*St*) у спеціальному форматі;
- ефективність навігації між структурними блоками та мовними версіями *In* для всіх типів користувачів.

Таким чином, поєднання семантичної точності перекладів із інтерактивністю навігаційних блоків та адаптацією для користувачів із порушенням зору формує основу для розробки багатомовних текстів, які водночас є точними, структурованими, зручними та доступними для всіх категорій користувачів. Такий комплексний підхід підвищує наукову, професійну та культурну цінність публікацій, забезпечуючи інтерактивність, доступність та інклюзивність контенту.

Крім того, методологія дозволяє адаптувати текстові матеріали до різних платформ та форматів видання, забезпечуючи узгодженість перекладів, інтерактивність і доступність у багатомовному контексті. Це робить запропонований підхід універсальним інструментом для сучасного наукового, професійного та культурного контенту.

Обговорення

Інтерактивність і багатомовність сьогодні постають не лише як технічні інструменти перекладу, а як концептуальні принципи організації матеріалів у сучасних серіях. Ці серії поєднують універсальність і стандартизацію, враховуючи специфічні вимоги різних контекстів, включно з науковими, професійними, адміністративними та культурно-мистецькими. Такий підхід дозволяє створювати матеріали, де кожна мовна версія не є ізольованою копією, а стає невід'ємною складовою інтерактивної інформаційної екосистеми, забезпечуючи логічну цілісність, термінологічну узгодженість та семантичну точність.

Особливо важливим є забезпечення доступності матеріалів для осіб з вадами зору, що майже відсутнє у традиційних підходах до багатомовних матеріалів. Інтерактивна багатомовна методологія включає елементарні, але критично важливі функції, такі як використання навігаційних елементів, швидкий перехід між мовними версіями та тематичними блоками, сумісність

з екранними читалками, масштабування шрифтів, голосові підказки та структурована логіка контенту. Цей підхід не лише підвищує доступність, а й створює новий рівень інклюзивності у наукових, професійних і культурно-мистецьких серіях.

У науковій сфері інтерактивність і багатомовність забезпечують:

- точність і узгодженість термінології, особливо в міждисциплінарних дослідженнях;
- доступність матеріалів для міжнародної спільноти різними мовами без втрати смислу та логічної структури;
- інтеграцію в глобальні наукометричні бази даних (наприклад, Scopus, Web of Science, DOAJ), що підвищує видимість публікацій і сприяє формуванню транскордонних наукових мереж.

У бізнесовій та адміністративній сферах інтерактивна багатомовність забезпечує:

- прозорість комунікацій, юридичну точність та стилістичну нейтральність документів;
- зниження ризику непорозумінь у транснаціональних корпораціях та міжнародних організаціях;
- створення умов для ефективного міжнародного партнерства, де кожна мовна версія має однакову інформаційну та юридичну силу.

У культурно-мистецькому просторі інтерактивна багатомовність виступає ключовим механізмом міжкультурного діалогу (тобто структурованої комунікації між різними мовними та культурними спільнотами). Така методологія дозволяє художнім текстам, літературним збіркам і творчим проектам долати мовні бар'єри, одночасно зберігаючи авторський стиль та естетичну цілісність твору (підтримуючи передбачуваний художній ефект і структуру оповіді в різних мовах). Внаслідок цього формуються нові культурні простори, де твори здобувають міжнародне визнання, сприяючи появі глобальної аудиторії та розвитку міжкультурного взаєморозуміння. У цьому контексті інтерактивна багатомовність є не просто інструментом перекладу, а динамічним каркасом для культурного обміну.

Інтерактивність у цифровому середовищі реалізується через низку механізмів, що підвищують зручність користування, сприйняття та доступність:

- Структуровані тематичні блоки та ієрархічна організація матеріалів (систематичне розташування інформації в логічно послідовних одиницях), що забезпечує користувачам цілісне та інтуїтивне сприйняття матеріалу, полегшуючи навчання та дослідження;

- Швидке перемикання мов (можливість безшовного доступу до кількох мовних версій одного й того ж контенту), що зберігає семантичну точність і водночас дозволяє користувачам обирати мову за власними вподобаннями;
- Інтегровані навігаційні елементи (інтерактивні кнопки, символи та гіперпосилання), які забезпечують ефективне переміщення користувача між секціями без втрати контексту;
- Сумісність із програмним забезпеченням для доступності (наприклад, скрінрідери, брайлеві дисплеї, збільшувальні інструменти), що гарантує інклюзивність платформи для користувачів з порушеннями зору та іншими потребами.

Основна мова платформи (найчастіше англійська) виконує роль еталонного стандарту для всіх перекладів, забезпечуючи три ключові функції:

- Підтримання контролю якості у багатомовних версіях;
- Запобігання накопиченню помилок у перекладі;
- Забезпечення семантичної узгодженості (збереження змісту та значення контенту у всіх мовних версіях).

Такий підхід забезпечує створення багатомовних баз даних, освітніх платформ і комунікаційних ресурсів, орієнтованих на потреби широкого кола користувачів — студентів, науковців, державних службовців, менеджерів, культурних працівників та людей з інвалідністю. Інтерактивні елементи дозволяють поєднувати текстову, аудіовізуальну та мультимедійну інформацію, що сприяє глибокому засвоєнню знань і розвитку міжкультурної комунікації.

Поєднання інтерактивності та багатомовності формує високу гнучкість цифрових платформ, дозволяючи користувачам переміщатися між мовами, тематичними розділами та навчальними модулями без порушення логіки та концептуальної цілісності матеріалу. Це забезпечує точність, доступність та культурну релевантність інформації у глобалізованому освітньому та науковому середовищі.

Багатомовний підхід сприяє інклюзивності цифрового простору, забезпечуючи рівний доступ до ресурсів для користувачів з різними мовними та когнітивними компетенціями. Така методологія підтримує розвиток цифрової грамотності, соціальної адаптації та професійної інтеграції людей з інвалідністю, а також відкриває нові можливості для дистанційного навчання та міжнародної співпраці.

Таким чином, інтерактивна багатомовна методологія постає як універсальний інструмент для створення сучасного наукового, освітнього,

професійного та культурного контенту, поєднуючи структурованість, точність, технологічну адаптивність та принципи інклюзивності.

Підставою для розгляду реалізації інтерактивної багатомовної методології є її широке застосування у різних сферах, яке забезпечує досягнення ключових переваг і практичних результатів, що відповідають встановленим критеріям ефективності (табл. 2).

Таблиця 2. Порівняльне застосування інтерактивної багатомовної методології у різних сферах

Сфера	Основні переваги	Вирішувані проблеми
Академічна (Scopus, WoS)	Підвищує видимість і цитованість, забезпечує термінологічну точність	Запобігає семантичному зсуву; стандартизує системи посилань
Літературна та культурна	Сприяє міжкультурному діалогу; розширює аудиторію; зберігає стилістичні особливості	Уникає втрати культурного контексту при перекладі
Професійна (бізнес)	Забезпечує ясність у контрактах, звітах і корпоративній комунікації; відповідність стандартам	Усуває термінологічні невідповідності між юрисдикціями
Офіційна та юридична	Гарантує юридичну точність, адміністративну узгодженість та сумісність із глобальними рамками	Мінімізує ризики неправильного тлумачення у критичних документах

Джерело: авторська розробка [1-6, 9]

Цей підхід також підкреслює, що інтерактивність слід розглядати не лише як технічну функцію, а як педагогічний та культурний інструмент (що сприяє залученню, розумінню та закріпленню знань), а багатомовна підтримка виходить за межі буквального перекладу, функціонуючи як мост між різними аудиторіями, перспективами та інтерпретаційними рамками. Така методологія забезпечує, щоб знання та творчий вираз були доступними, інклюзивними та ефективними у різних мовних і культурних контекстах.

Після аналізу впровадження інтерактивної багатомовної методології у різних сферах стає необхідним більш глибоко розглянути практичні механізми інтерактивності та адаптивності, спеціально розроблені для осіб із вадами зору. Ці механізми не лише створюють додаткову функціональну цінність, але й підкреслюють інноваційний і трансформаційний характер запропонованого підходу.

В межах цифрових платформ інтерактивність реалізується через синергетичне поєднання структурованих блоків контенту, навігаційних компонентів та інтерфейсів керування матеріалами. Таке поєднання забезпечує ефективну орієнтацію у великих масивах інформації. Для осіб із

вадами зору ці інтерактивні елементи набувають особливої ваги, оскільки вони відкривають доступ до інформації, яка раніше залишалася частково або повністю недосяжною.

Ключові компоненти інтерактивності з урахуванням принципів доступності

Структуровані тематичні блоки:

- Контент системно організований у логічно узгоджені секції з чітко позначеними заголовками, що дозволяє користувачам швидко орієнтуватися у текстовому середовищі.
- Кожна секція містить метадані та семантичні мітки для забезпечення сумісності з технологіями екранного зчитування, завдяки чому користувачі з вадами зору можуть ефективно переходити між різними частинами матеріалу.

Навігаційні елементи:

- Гіперпосилання та інтерактивні кнопки забезпечують прямий перехід між мовними версіями або тематичними модулями, усуваючи потребу у тривалому прокручуванні.
- Символи та піктограми застосовуються для швидкої ідентифікації типу матеріалу (науковий текст, табличні дані, графічне зображення, додаткові ресурси). Усі ці елементи обов'язково супроводжуються текстовими альтернативами, сумісними з допоміжними технологіями.

Адаптація до допоміжних і компенсаторних технологій:

- Платформи створюються з урахуванням повної інтероперабельності з екранними читалками, програмами збільшення шрифту та іншими допоміжними засобами.
- Дизайн-система включає висококонтрастні колірні схеми та динамічно масштабовану типографіку, що забезпечує зручність сприйняття для осіб із частковим зором.
- Таблиці та графічні матеріали обов'язково доповнюються текстовими описами та анотаціями, які передають зміст візуальних даних.

Голосові підказки та аудіонавігація:

- Основні матеріали можуть супроводжуватися озвученням ключових секцій, а також навігаційними підказками, що полегшують орієнтацію у цифровому середовищі.
- Голосові елементи створюють альтернативний канал взаємодії, який дозволяє користувачам працювати з матеріалами без потреби у візуальному сприйнятті, тим самим істотно розширюючи інклюзивність аудиторії.

Базова мова та контроль якості перекладів:

- Використання визначеної базової мови (найчастіше англійської) забезпечує збереження логічної узгодженості, термінологічної точності та семантичної цілісності у багатомовних адаптаціях. Це має особливе значення для осіб із вадами зору, які покладаються на стабільність навігаційних структур і точність мовних засобів для ефективного доступу до інформації.

Практичні переваги підходу:

- Інклюзивність: Цей підхід забезпечує рівний доступ до наукових, професійних, ділових та культурно-мистецьких ресурсів для осіб із вадами зору. Завдяки інтеграції механізмів доступності безпосередньо в основу дизайну платформи, особи, які традиційно стикалися з бар'єрами у доступі до текстового, табличного чи мультимедійного контенту, можуть повноцінно брати участь у науковій, професійній, діловій та мистецькій діяльності. Методологія сприяє соціальній інтеграції, створюючи середовище, де всі користувачі, незалежно від сенсорних обмежень, мають рівні можливості для взаємодії з матеріалами.
- Ефективність: Структурована організація контенту у чітко визначені тематичні блоки, у поєднанні з інтерактивними навігаційними елементами, дозволяє користувачам ефективно орієнтуватися у великих обсягах інформації. Це зменшує когнітивне навантаження та час пошуку, дозволяючи науковцям, професіоналам і культурним практикам швидко знаходити, аналізувати та синтезувати необхідну інформацію. Для користувачів із вадами зору інтерактивні підказки та сумісні з екранними читалками елементи додатково підвищують ефективність роботи з будь-яким типом матеріалів.
- Універсальність: Принципи інтерактивної багатомовності застосовні як у наукових серіях, так і у професійних документах, ділових матеріалах та культурно-мистецьких проєктах. Ця універсальність забезпечує одночасно доступність, термінологічну точність та логічну цілісність матеріалів. Незалежно від того, чи платформа використовується для представлення наукових досліджень, професійних звітів, ділових документів, літературних збірок або мультимедійних виставок, методологія гарантує послідовність подання контенту та задоволення різноманітних мовних і сенсорних потреб користувачів.
- Соціальна новизна: Традиційні підходи до багатомовних платформ рідко включають комплексну інклюзивність як невід'ємну функцію. У цьому контексті інтерактивна багатомовність є новаторським прикладом повноцінної інтегрованої інклюзивної методології, заповнюючи прогалини існуючих систем та встановлюючи новий стандарт соціально

відповідального цифрового дизайну в науковій, професійній, діловій та культурно-мистецькій сферах.

Інтерактивність у різних типах матеріалів

У межах проектів, що охоплюють наукові, професійні, ділові та культурно-мистецькі матеріали, інтерактивні елементи виконують низку практичних функцій, спрямованих на підвищення ефективності користування та доступності контенту:

- **Безшовне перемикання між мовами:** користувачі мають змогу перемикатися між мовними версіями матеріалів без втрати стилю, точності або смислових нюансів. Це забезпечує збереження авторського голосу у літературних творах та підтримує термінологічну точність у наукових, професійних і ділових текстах.
- **Доступ до додаткових матеріалів:** інтерактивні посилання дозволяють отримувати пояснення термінів, глосарії спеціалізованих понять або контекстну інформацію, пов'язану з матеріалом. Такий підхід підвищує рівень розуміння та залучення, особливо для користувачів, які не володіють мовою матеріалу на рівні носія, осіб із вадами зору, а також тих, хто має обмежений доступ до традиційних довідкових ресурсів.
- **Голосові та текстові підказки:** озвучення та текстові підказки дозволяють користувачам із порушеннями зору ефективно ознайомлюватися з будь-якими матеріалами — науковими, професійними, діловими або художніми. Мультиmodalні системи керування забезпечують рівний доступ до інформації для всіх категорій користувачів, сприяючи інклюзивній участі та повноцінному сприйняттю матеріалів незалежно від їх формату.
- **Інтеграція міжкультурного та міждисциплінарного діалогу:** інтерактивні елементи сприяють міжкультурній і міждисциплінарній взаємодії, поєднуючи матеріали, анотації та пояснювальні ресурси таким чином, щоб зберігати доступність для широкої міжнародної аудиторії. Цей підхід заохочує міжкультурне розуміння, наукову співпрацю та професійну комунікацію, забезпечуючи логічну цілісність, інклюзивність і зручність навігації у різних типах матеріалів.

Висновки

Отже, інтерактивна багатомовність у поєднанні з елементами доступності формує нову парадигму універсальної комунікації. Вона одночасно забезпечує структуровану узгодженість, точність термінології, інклюзивність та зручність використання для різних груп користувачів, зокрема осіб із вадами зору. Такий підхід створює сприятливі умови для сталого розвитку наукових, професійних і культурно-мистецьких серій у глобальному цифровому середовищі,

демонструючи як практичну новизну, так і соціальну значущість інтерактивної багатомовної методології.

Інтерактивна багатомовна методологія гарантує узгодженість термінології, семантичного змісту та логічної структури у всіх мовних версіях матеріалу [1, 2]. Семантичний переклад у поєднанні з ретельними процедурами контролю якості, зокрема зворотним перекладом, забезпечує точність, надійність і академічну достовірність [5, 8]. Ці механізми мають ключове значення для запобігання семантичним викривленням у процесі перекладу, особливо в умовах, коли технічна точність та концептуальна цілісність мають принципове значення.

У практичному вимірі методологія демонструє високу ефективність у кількох сферах:

- Наукове видавництво: підвищення видимості результатів досліджень, забезпечення відповідності міжнародним індексаційним системам (Scopus, Web of Science, DOAJ), полегшення участі у глобальних академічних дискусіях.
- Літературно-мистецькі проекти: збереження стилістичної цілісності творів при одночасному відкритті доступу до ширшої міжнародної аудиторії, що сприяє міжкультурному діалогу та визнанню творчих робіт у різних мовних середовищах.
- Адміністративна та ділова документація: забезпечення юридичної точності, термінологічної стандартизації та прозорості процесів прийняття рішень у багатомовних і багатонаціональних організаціях [4, 7].

Не менш важливою складовою методології є її інтерактивний вимір. Використання інтерактивних символів, навігаційних кнопок, гіперпосилань і семантичної розмітки дає змогу користувачам безперешкодно перемикатися між мовними версіями й структурними розділами. Це суттєво підвищує доступність і зручність використання, особливо у цифрових середовищах, що характеризуються великими обсягами академічних, професійних чи культурних матеріалів [3, 9]. З точки зору інклюзивного дизайну, поєднання багатомовності з інтерактивною навігацією також підвищує доступність для людей із вадами зору, оскільки забезпечує сумісність з програмами екранного озвучення, технологіями синтезу мовлення та адаптивними інструментами відображення тексту.

Поза межами наявних застосувань методологія має значний потенціал для адаптації до інших міжнародних серій і платформ. Її інтеграція у глобальні дослідницькі інфраструктури — зокрема ORCID, Crossref, інституційні репозитарії та системи відкритого доступу — може забезпечити не лише

підвищення видимості, а й стійку цитованість публікацій у глобальному контексті.

Крім того, узгодження з міжнародними стандартами доступності, такими як WCAG 2.1 [11] та ISO 9241-171 [12], забезпечує, що контент, створений або поширюваний за допомогою цієї методології, відповідає загальновизнаним принципам інклюзивного дизайну. WCAG 2.1 надає детальні рекомендації щодо забезпечення доступності веб-матеріалів для людей із порушеннями зору, слуху, когнітивними або моторними обмеженнями, тоді як ISO 9241-171 зосереджується на ергономічних принципах доступності програмного забезпечення, покращуючи його зручність для ширшої аудиторії. Інтегруючи ці стандарти, методологія сприяє не лише відповідності нормам, а й створенню матеріалів, які є справедливими, інклюзивними та універсально придатними.

У перспективі інтерактивна багатомовність може еволюціонувати завдяки використанню технологій штучного інтелекту для підтримки перекладу, створення адаптивних багатомовних баз даних і впровадження інструментів автоматизованої семантичної верифікації. Такі інновації не лише прискорять процес перекладу та поширення матеріалів, але й збережуть семантичну точність і культурну чутливість, що є критично важливим у науковій, правовій та мистецькій комунікації.

Отже, інтерактивна багатомовність з елементами доступності слід розглядати не лише як технічну інновацію. Вона виступає концептуальною та методологічною рамкою, яка змінює саму природу взаємодії між знанням, культурою та управлінням. Поєднуючи точність та інклюзивність, локальну специфіку та глобальну інтегрованість, методологія створює основу для формування сталих і універсально доступних систем комунікації. Її трансформаційний потенціал охоплює науку, бізнес і культуру, роблячи її одним із ключових інструментів сучасних цифрових комунікаційних практик.

Список літератури

1. Гнатюк, І. (2017). Багатомовна наукова комунікація: теорія і практика. Київ: Видавництво Київського університету.
2. Smith, J., & Johnson, R. (2021). Semantic translation in scientific publishing. *International Journal of Translation Studies*, 14(2), 101–119.
3. Garcia, I., Pérez, L., & Torres, M. (2020). Multilingual digital platforms: Interactive navigation and user experience. *Journal of Multilingual Communication*, 12(3), 45–62.
4. Мельник, О. (2021). Термінологічна стандартизація у багатомовних документах. Львів: ЛНУ ім. І. Франка.
5. Baker, M. (2018). *In other words: A coursebook on translation* (3rd ed.). Routledge.

6. Cronin, M. (2017). Translation and globalization. Routledge.
7. Держгеокадастр. (2018). Стандарти діловодства та багатомовні документи. Київ: Державний земельний кадастр.
8. Gile, D. (2009). Basic concepts and models for interpreter and translator training. John Benjamins Publishing.
9. Шевченко, Т. (2019). Інтерактивні платформи та користувацький досвід. Харків: ХНУ.
10. Коваленко, Л. (2020). Літературно-мистецькі переклади: методологія та практика. Київ: Наукова думка.
11. W3C. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
12. ISO 9241-171:2008. Ergonomics of human-system interaction — Part 171: Guidance on software accessibility.

[EN_1]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Methodology and Multilingualism of Interactive Texts

Abstract

The methodology of interactive multilingual presentation of textual materials is conceptualized as a universal tool capable of ensuring the creation, harmonization, and dissemination of materials of various types — ranging from scientific articles and monographs to literary and artistic collections, as well as business and official documents. Its uniqueness lies in the combination of two interrelated aspects: linguistic universality and interactive navigation. This approach makes it possible to overcome barriers between different scientific schools, cultural traditions, and administrative environments, thereby creating a single structured platform for presenting information.

The core principle is the use of a base language that serves as the central reference point for the entire system of translations. Most often, this role is assigned to English, since it has become the lingua franca of international science, education, and business communication. However, the methodology is not limited to English: any text may be originally created in another language — Ukrainian, French, German, Japanese, or others. If the original is not in English, it is translated into English and simultaneously expanded, refined, and supplemented to form a comprehensive base version. This base version subsequently becomes the sole source for all further translations, ensuring semantic accuracy, terminological consistency, and logical coherence across all linguistic variants.

The methodology provides a multi-level quality control system. First, the practice of back-translation is employed to identify semantic deviations between the original and the translation. Second, professional philologists and native speakers are involved to carry out stylistic and cultural adaptation of the text. Third, format standardization is applied: titles, numbering, notations, structures of references, and bibliographies are unified. Thanks to these mechanisms, integrated materials can be seamlessly included in international scientometric databases — Scopus, Web of

Science, DOAJ — as well as in official multilingual business, legal, and cultural platforms.

The article presents the principles of constructing the base language, algorithms for translation and harmonization of multilingual versions, and descriptions of interactive block diagrams and navigation tables. As case studies, scientific series ("InPlatforma") and literary-artistic collections (the "Light in the Soul" series) are considered. Nevertheless, the universality of the proposed approach allows its application also in business and official-document practices. Special emphasis is placed on the prospects of universalizing this methodology for any type of document, where the combination of multilingualism, interactivity, and standardization opens new opportunities for effective use of information.

Thus, the methodology of interactive multilingual presentation of textual materials is of strategic importance. It combines standardization and flexibility, scientific precision and cultural diversity, local specificities and international standards. Its implementation contributes both to the advancement of academic research and to the dissemination of artistic and business practices within the global information space.

Keywords: multilingual publication, interactive navigation, base language, semantic translation, scientific and artistic series, business documents, version harmonization, international standards, Scopus, Web of Science, DOAJ, cultural adaptation, back-translation.

Introduction

In contemporary scientific, professional, and cultural publications, one of the critical aspects is ensuring high-quality translation, convenient navigation, and universal accessibility of materials. This issue becomes particularly relevant in multilingual editions, where semantic accuracy, structured presentation, and inclusivity for all categories of users directly determine both the effectiveness of communication and the international visibility of research outcomes.

The proposed interactive multilingual methodology provides accessibility not only for users with normal vision but also for individuals with visual impairments or complete blindness, enabling the use of assistive technologies such as Braille and voice interfaces. This approach ensures a high level of inclusivity by combining the principles of universal design with the requirements of academic and professional communication.

The scientific novelty of the methodology lies in the integration of three interrelated components:

- the assessment of semantic accuracy in translations, preventing the accumulation of meaning-related distortions;

- the interactivity of navigational blocks, enhancing usability and adaptability of materials;
- accessibility for visually impaired users through the incorporation of specialized formats and assistive technologies.

Modern academic, cultural, and business communication cannot function without multilingual resources, as global information exchange presupposes interaction among representatives of different countries, research schools, cultural traditions, and administrative systems. In academic publishing, multilingualism contributes to greater international visibility of research in indexing databases such as Scopus, Web of Science, and DOAJ, granting wider access to relevant results and methodologies [1, 2]. In literary and artistic collections, it supports intercultural dialogue and the promotion of authors' works [3, 4]. In the field of business and official documentation, multilingualism ensures legal and administrative accuracy, compliance with standards of corporate governance, and the facilitation of international cooperation.

The aim of this article is to present a comprehensive methodology for interactive multilingual representation of textual materials, which includes:

- algorithms for producing a basic version of the text with subsequent translations into other languages while preserving semantic accuracy and terminological consistency;
- mechanisms of interactive navigation between language versions and structural blocks;
- principles of quality control through back-translation, expert review, and standardization of formats;
- adaptation for visually impaired users through the integration of Braille, voice interfaces, and other assistive tools.

Thus, the interactive multilingual methodology emerges as a universal instrument for academic, cultural, and professional publications, combining semantic precision, structural clarity, accessibility, and inclusivity in the global information environment.

Theoretical Foundations of Interactive Multilingualism

Problem Statement

Modern global communication and the internationalization of science, culture, and business require materials that are understandable and accessible to speakers of different languages and representatives of diverse cultural communities. Multilingual materials often face several critical challenges that can affect their quality and effectiveness:

- Accumulation of inaccuracies in sequential translation. When materials are translated in multiple stages from the original language into several others,

errors can accumulate, potentially altering the intended meaning, particularly in scientific or technical texts [5].

- Loss of semantics and logical coherence. Each translation step can change sentence structures and shift semantic emphases, leading to fragmentation of the text and distortion of key ideas [6].
- Inconsistencies in style, format, and terminology. Different types of texts—scientific, legal, literary—require adherence to specific formatting norms, stylistic conventions, and precise terminology. Deviations from these standards may reduce the clarity, credibility, and academic or professional value of the materials [4, 7].

Approaches to Resolution

To address these challenges, a comprehensive methodology is proposed, combining linguistic universality, semantic precision, and interactive technologies:

- Base Language. A single language version—typically English—serves as the central reference point for all other translations. This ensures terminological consistency and minimizes distortions in meaning when translating into other languages.
- Semantic Translation. This approach preserves meaning not only lexically but also in terms of the logical structure and conceptual relationships of the original text [2].
- Quality Control. Procedures include back-translation, expert evaluation by linguists and native speakers, and verification of formatting and structural consistency to ensure both stylistic and cultural adaptation [1, 8].
- Interactive Navigation. The use of buttons, symbols, or hyperlinks enables users to switch easily between language versions and structural blocks of the material, enhancing accessibility and user experience [3, 9].

Algorithm for Preparing Interactive Multilingual Materials

Scientific Texts:

- Creation of Base Version: The original material is translated into English, incorporating terminological clarification, additional explanatory content, and structural optimization.
- Translations into Other Languages: Subsequent translations are done directly from the English base version, ensuring high semantic accuracy.
- Interactive Navigation: Symbols or buttons indicate available language versions, allowing intuitive switching.
- Quality Control: Back-translation and expert verification reduce errors and distortions [8].

Literary and Artistic Texts:

- Original Text: Created in Ukrainian or another national language.

- Translations: Performed into English, French, German, Italian, Spanish, and other target languages, with attention to stylistic and cultural nuances.
- Interactive Navigation: Buttons allow readers to switch quickly between languages and text sections.
- Formatting: Text can be displayed in one or two columns, adapted for different platforms and reading formats [10].

Business and Official Documents:

- Base Version Creation: Original documents are translated into English in compliance with international formatting standards, numbering, headings, and references.
- Translations into Other Languages: Performed directly from English, taking into account legal, administrative, and professional requirements of target audiences.
- Interactive Navigation: Buttons or symbols enable efficient switching between language versions.
- Format Standardization: Ensures adherence to international norms and corporate policies [4, 7].

Practical Applications:

- “InPlatform” Series: Integration of scientific materials into a multilingual platform; interactive tables and navigation buttons improve user accessibility.
- “Light in the Soul” Series: Literary and artistic texts adapted for multilingual reading, including headers, footers, and interactive content buttons.
- Business Documents: Standardized English versions serve as the translation base; interactive navigation facilitates access for international users.

This systematic approach ensures not only a high level of semantic accuracy and stylistic consistency but also makes materials accessible to a global audience. It provides universality, interactivity, and standardization, thereby enhancing the efficiency, usability, and reach of multilingual materials across scientific, artistic, and professional domains.

Advantages and Innovativeness of the Approach

The interactive multilingual methodology represents a comprehensive system that integrates scientific accuracy, cultural adaptation, and technological integration. This approach offers a range of key advantages applicable to all types of textual materials—from academic publications and scholarly articles to literary works and professional documents—enhancing both the quality and accessibility of content across diverse linguistic and cultural contexts.

Consistency of Content and Terminology

- The use of a base language, serving as the central standard for all translations, prevents the accumulation of errors and the “telephone effect” that often occurs during sequential translations across multiple languages.
- Semantic translation ensures the preservation of logical coherence, conceptual consistency, and meaning across all language versions, guaranteeing that key terms, scientific concepts, and cultural nuances remain intact when texts are adapted for an international audience.
- This methodology significantly enhances the accuracy and reliability of academic, professional, and artistic materials, which is particularly critical for publications in scientometric databases, international journals, and literary series [1, 2].
- Consistency in style, formatting, and structural elements ensures that materials are professionally organized and ready for use in both international and local contexts.
- By maintaining conceptual accuracy across languages, the risk of misinterpretation is minimized, which is crucial for legal, scientific, and corporate communications.

Interactive Navigation

- Integration of interactive elements, such as buttons, symbols, and hyperlinks, allows users to seamlessly switch between different language versions and structural blocks of the material.
- This improves user experience and accessibility, enabling researchers, students, and professionals to quickly navigate to the sections they need in the language they prefer [3, 9].
- Interactive navigation supports logical organization of content, facilitates learning, research, and professional use, and underpins the development of intuitive digital platforms for multilingual content dissemination.

Enhanced Visibility and Citation

- Thanks to its multilingual structure, standardized formatting, and adherence to international metadata protocols, integrated materials can be seamlessly incorporated into a wide range of international scientometric databases, including Scopus, Web of Science, as well as open-access repositories such as DOAJ. This integration not only ensures broad visibility across diverse academic and professional audiences but also enhances citation potential, facilitates traceability of references, and supports long-term accessibility and interoperability of the materials within global research networks. By meeting the rigorous requirements of international indexing standards, the approach significantly strengthens the discoverability, academic recognition, and impact of the content across disciplines and linguistic communities.

- The methodology can be readily adapted for international literary publications, educational platforms, and corporate systems, broadening audience reach and ensuring efficient content dissemination on a global scale.
- By improving traceability and interoperability of materials, the approach also promotes cross-cultural academic collaboration and facilitates inclusion in global scientific networks.

Universality and Applicability

The proposed methodology demonstrates a high degree of universality, making it applicable to a broad spectrum of materials — from academic and scientific publications to literary, artistic, professional, and official documents. It is particularly effective in contexts where precision, logical structure, and multilingual accessibility are essential for maintaining the integrity and credibility of information.

This approach establishes a unified system for managing and presenting textual content, ensuring standardization of formats, stylistic consistency, numbering, tables, figures, and diagrams. At the same time, it preserves the cultural identity, genre-specific nuances, and semantic depth of the original source, preventing the loss of meaning or emotional tone that may occur during translation or adaptation. Such a balance between structural unification and cultural diversity enables the creation of globally comprehensible yet contextually authentic materials.

The integration of multilingualism, interactivity, and standardization creates a powerful framework for effective knowledge exchange and communication. Through interactive tools — such as dynamic glossaries, adaptive cross-references, and linked visual elements — users can access materials in multiple languages without compromising accuracy or readability. This approach not only increases the efficiency of information retrieval and interpretation but also supports cross-disciplinary research, international education, and creative collaboration across linguistic and cultural boundaries.

Furthermore, the universality of the methodology allows for the integration of heterogeneous text types into a single structured digital ecosystem. Academic articles, literary works, official reports, and multimedia annotations can coexist within one interactive platform, connected through standardized metadata, multilingual indexing, and cross-referential navigation. This provides users with a coherent, intuitive, and inclusive experience, regardless of their linguistic background or professional domain.

By ensuring compatibility with international publishing standards and metadata protocols (e.g., DOI, ORCID, MARC, Dublin Core), the methodology supports interoperability with scientific databases, institutional repositories, and cultural archives, thus reinforcing the long-term preservation and accessibility of content.

Based on these principles, multilingual interactive diagrams are developed to visualize interconnections between languages, disciplines, and content types. Such diagrams can illustrate not only structural relationships but also semantic and cultural parallels within a unified informational framework, enhancing both comprehension and engagement (Fig. 1).

Option 1 is short:

x – назва матеріалу / material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

Option 2 - with the name translated separately:

x – назва матеріалу
x – material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

Option 3 is an extended scheme with blocks:

Блок X – Назва матеріалу / Block X – Material Name

- UA-X (Українська)
- EN-X (Англійська / English)
- ES-X (Іспанська / Español)
- FR-X (Французька / Français)
- DE-X (Німецька / Deutsch)
- PT-X (Португальська / Português)
- JA-X (Японська / 日本語)

Option 4 is a simplified detailed scheme:

X – Назва матеріалу
X – Material Name

- UA-X
- EN-X
- ES-X
- FR-X
- DE-X
- PT-X
- JA-X

Explanation:

- [UA-X], [EN-X] - interactive links to the relevant language versions.
- X — the number of the material or page or its ordinal block in the material.
- This structure allows you to universally display any material while maintaining consistency and standardisation.
- Suitable for scientific articles, literary and artistic works, business documents.

Fig. 1. Universal material structure algorithm

Source: author's development.

The aim of this article is to present a universal methodology for interactive multilingual presentation of textual materials. It encompasses algorithms for creating a base version of a text and its subsequent translation into other languages, taking into account semantic accuracy and terminological consistency, as well as mechanisms for interactive navigation between language versions and structural

blocks of the material. Quality control is ensured through back-translation, expert review, and format standardization.

For a systematic assessment of the effectiveness of multilingual materials, quantitative indicators are proposed. Translation semantic accuracy (*St*) helps prevent the accumulation of meaning-related errors and evaluates the conformity of terminology and phraseology to established standards. Simultaneously, the interactivity of navigation blocks (*In*) determines the ease of transitioning between language versions and structural elements of the text, thereby enhancing the overall user value of the material.

The proposed approach illustrates the practical application of the methodology across various types of publications: scientific series ("InPlatform"), literary and artistic collections ("Light in the Soul"), and business documents. It ensures flexibility, standardization of structure and format, while preserving semantic accuracy, cultural authenticity, and accessibility of content for all user categories, including individuals with visual impairments who rely on Braille or voice-based interfaces.

The rationale of the methodology involves a detailed analysis of the navigational characteristics of texts in scientific, business, and creative materials, allowing the identification of key indicators of structure and accessibility and the formation of a universal approach for evaluating interactivity and translation quality in multilingual publications (Table 1).

1. Navigation for scientific, business and creative materials

Назва / Named	UA	EN	FR	DE	ES	PT	JA
Розділ 1 / Material X	x	x	x	x	x	x	x
Розділ 2 / Material K	x	x	x	x	x	x	x
Розділ 3 / Material G	x	x	x	x	x	x	x
...	...	...	...	...	...	...	...

Explanation:

- Each line corresponds to a separate material (scientific, literary, artistic, business).
- Columns UA, EN, FR, DE, ES, PT, JA - links to the respective language versions.
- The table demonstrates the versatility and interactivity of navigation for any type of material, whether it is a series of scientific interactive multilingual publications, office work, or literary and artistic collections and series (Hnatiuk, 2017; Melnyk, 2021; Kovalenko, 2020).

Source: author's development.

In contemporary scientific, professional, and cultural publications, ensuring the quality of translation and the navigational convenience of materials is of critical importance. This is particularly relevant for multilingual editions, where the accuracy of meaning transfer and the structured presentation of information directly affect both perception and communication efficiency. To address these challenges, an interactive multilingual methodology has been proposed, which combines a systematic approach to translation assessment with the evaluation of navigational

interactivity, while simultaneously ensuring inclusivity for all categories of users, including persons with visual impairments. Materials may be adapted for use with assistive technologies such as Braille, screen readers, or audio interfaces, thus making them accessible for individuals with low vision or complete blindness.

The basis for assessing the quality of translation in multilingual texts is the calculation of the average coefficient of semantic accuracy, which prevents the accumulation of semantic errors in multilingual publishing (Formula 1):

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1)$$

Where:

S_t - average coefficient of semantic accuracy;

C_i — accuracy score of the translation of the i -th term or phrase (1 — fully accurate, 0 — meaning lost);

n — number of terms or phrases in the text.

It is used to assess the quality of a translation and prevent the accumulation of semantic errors in a multilingual publication.

Source: author's development.

The calculation of S_t ensures a systematic assessment of translations and makes it possible to determine the level of terminological and phraseological compliance with established standards. Based on this indicator, not only errors can be detected, but also corrective strategies may be developed to improve translation accuracy in subsequent versions of the material.

At the same time, the evaluation of navigational block efficiency guarantees text interactivity and usability. For this purpose, the percentage of material interactivity is determined (Formula 2):

$$I_n = \frac{B_a}{B_t} \quad (2)$$

Where:

I_n - percentage of interactivity (availability of buttons or symbols for navigation);

B_a — number of active navigational blocks;

B_t — total number of blocks in the material.

This indicator is used to assess the ease of navigation between language versions and building blocks.

Source: author's development.

On the basis of this indicator, the convenience of navigation between language versions and structural elements of the text is evaluated. A high level of interactivity facilitates user orientation, simplifies access to information, and increases the overall user value of the material.

The novelty of the proposed approach lies in the fact that the calculation of both S_t and I_n may also be applied to adapted versions of materials designed for users

with visual impairments. For instance, in the integration of Braille, audio interfaces, or specialized navigation tools, it becomes possible to evaluate:

- the semantic accuracy of information transfer (*St*) in accessible formats;
- the effectiveness of navigation *In* across structural blocks and language versions for all categories of users.

Thus, the combination of semantic translation accuracy with the interactivity of navigational blocks and accessibility for visually impaired users provides a foundation for developing multilingual texts that are accurate, structured, user-friendly, and inclusive. This comprehensive approach enhances the scientific, professional, and cultural value of publications by ensuring interactivity, accessibility, and inclusivity.

Moreover, the methodology enables the adaptation of textual materials to various platforms and publishing formats, ensuring translation consistency, interactivity, and accessibility in a multilingual context. This makes the proposed approach a universal tool for modern scientific, professional, and cultural content.

Discussion

Interactivity and multilingualism today are emerging not merely as technical translation tools but as conceptual principles for structuring content in contemporary series. These series combine universality and standardization while accounting for the specific requirements of diverse contexts, including scientific, professional, administrative, and cultural-artistic domains. This approach enables the creation of materials in which each linguistic version is not an isolated copy but an integral component of an interactive information ecosystem, ensuring logical coherence, terminological consistency, and semantic precision.

A particularly significant aspect is the accessibility of materials for individuals with visual impairments, a feature largely absent in traditional approaches to multilingual content. The interactive multilingual methodology incorporates elementary yet critically important functions, such as the use of navigation elements, rapid switching between language versions and thematic modules, compatibility with screen readers, font scaling, voice guidance, and structured content logic. This approach not only enhances accessibility but also establishes a new level of inclusivity in scientific, professional, and cultural-artistic series.

In the scientific domain, interactivity and multilingualism contribute to:

- ensuring accuracy and consistency of terminology, particularly in interdisciplinary research;
- providing access to materials for the international community in multiple languages without loss of meaning or logical structure;

- integration into global scientometric databases (e.g., Scopus, Web of Science, DOAJ), enhancing the visibility of publications and promoting the development of transnational scientific networks.

In the business and administrative sectors, interactive multilingualism ensures:

- transparency of communications, legal accuracy, and stylistic neutrality of documents;
- reduction of misunderstandings in multinational corporations and international organizations;
- conditions for effective international partnerships, in which each language version carries equivalent informational and legal validity.

In the cultural and artistic sphere, interactive multilingualism serves as a primary mechanism for intercultural dialogue (i.e., structured communication between different linguistic and cultural communities). This methodology allows artistic texts, literary collections, and creative projects to overcome language barriers while preserving the author's stylistic integrity and the aesthetic cohesion of the work (maintaining the intended artistic effect and narrative structure across languages). Consequently, it generates new cultural spaces where creative works gain international recognition, fostering a global audience and promoting cross-cultural understanding. In this context, interactive multilingualism functions not merely as a tool for translation but as a dynamic framework for cultural exchange.

Interactivity in digital environments is implemented through several mechanisms that enhance usability, comprehension, and accessibility:

- Structured thematic blocks and hierarchical organization of content (systematic arrangement of materials in logically sequenced units), which guide users through the content coherently, facilitating both research and educational activities;
- Rapid language switching (the ability to toggle seamlessly between multiple language versions of the same content), preserving semantic fidelity while enabling access to the material in users' preferred languages;
- Integrated navigation elements (interactive buttons, symbols, and hyperlinks), which enable efficient exploration of content and maintain context when moving between sections;
- Compatibility with accessibility software (e.g., screen readers, braille displays, magnification tools), ensuring that the platform remains inclusive for users with visual impairments or other accessibility needs.

The primary language of the platform (most often English) acts as a reference standard for all translations, fulfilling three critical functions:

- Ensuring quality control across multilingual versions;
- Preventing the accumulation of translation errors;

- Maintaining semantic consistency (preserving the meaning of content across languages).

This approach enables the development of multilingual databases, educational platforms, and communication resources specifically designed to meet the diverse needs of a wide range of users — including students, researchers, public administrators, managers, cultural professionals, and persons with disabilities. The integration of interactive elements allows the seamless combination of textual, audiovisual, and multimedia content, promoting deeper knowledge acquisition, fostering intercultural communication, and supporting interdisciplinary dialogue across various fields of study and professional practice.

The combination of interactivity and multilingualism enhances the flexibility, adaptability, and resilience of digital platforms, allowing users to navigate smoothly between languages, thematic sections, and learning modules without compromising the logical structure or conceptual integrity of the original material. This ensures that the information remains precise, accessible, and culturally relevant in a globalized educational and scientific environment, where knowledge must be effectively communicated across different contexts and audiences.

Moreover, multilingual and interactive platforms provide opportunities for adaptive learning, allowing content to be personalized according to the user's prior knowledge, learning pace, and professional or academic requirements. Such personalization not only improves learning outcomes and engagement but also promotes the development of critical thinking and analytical skills, as users actively interact with the content rather than passively consuming it.

The multilingual approach significantly contributes to inclusivity within the digital environment, ensuring equitable access to resources for users with varying language proficiencies, cognitive abilities, and levels of digital literacy. It supports digital literacy development, social adaptation, and professional integration of persons with disabilities, while simultaneously opening new opportunities for distance learning, international collaboration, and cross-cultural knowledge exchange.

Furthermore, interactive multilingual methodologies facilitate the creation of communities of practice, enabling participants to share research results, teaching materials, and best practices. Such collaborative environments stimulate interdisciplinary cooperation, accelerate global dissemination of knowledge, and strengthen innovation and sustainable development initiatives in scientific, educational, and professional domains.

Therefore, the interactive multilingual methodology emerges as a universal and robust tool for developing contemporary scientific, educational, professional, and cultural content. It combines structural coherence, terminological precision, and

technological adaptability with principles of openness, accessibility, and human-centered inclusivity, establishing a new paradigm for knowledge production, learning, and communication within the global digital ecosystem.

The practical relevance of implementing interactive multilingual methodologies is underscored by their wide application across various domains, which ensures the achievement of key benefits and tangible outcomes aligned with established efficiency criteria (see Table 2).

2. Comparative application of the interactive multilingual methodology in different areas

Sphere	Main advantages	Problems to be solved
Academic (Scopus, WoS)	Increases visibility and citation, ensures terminological accuracy	Prevents semantic shift; standardises reference systems
Literary and cultural	Promotes intercultural dialogue; expands the audience; preserves stylistic features	Avoids loss of cultural context in translation
Professional (business)	Ensures clarity in contracts, reports and corporate communications; compliance with standards	Eliminates terminological inconsistencies between jurisdictions
Official and legal	Ensures legal accuracy, administrative consistency and compatibility with global frameworks	Minimises the risk of misinterpretation in critical documents

Sources: own elaboration based on [1-6, 9].

This framework further emphasizes that interactivity should be considered not merely as a technical feature but as a pedagogical and cultural tool (supporting engagement, comprehension, and knowledge retention), and that multilingual support extends beyond literal translation to function as a bridge connecting diverse audiences, perspectives, and interpretive frameworks. Such a methodology ensures that knowledge and creative expression are accessible, inclusive, and impactful across linguistic and cultural boundaries.

Following the analysis of the implementation of the interactive multilingual methodology across diverse domains, it becomes essential to examine in greater depth the practical mechanisms of interactivity and adaptability specifically designed for individuals with visual impairments. These mechanisms not only generate additional functional value but also underscore the innovative and transformative character of the proposed approach.

Within digital platforms, interactivity is operationalized through a synergistic combination of structured content blocks, navigational components, and content management interfaces. Such integration facilitates efficient orientation within

extensive bodies of material. For individuals with visual impairments, these interactive elements are of particular significance, as they serve as a gateway to information that had previously remained partially or entirely inaccessible.

Fundamental components of interactivity with accessibility integration

Structured thematic blocks:

- Content is systematically organized into coherent sections with explicit headings, enabling users to orient themselves rapidly within the textual environment.
- Each section incorporates metadata and semantic labels to ensure compatibility with screen-reading technologies, thereby allowing visually impaired users to transition effectively between different segments of the material.

Navigational elements:

- Hyperlinks and interactive buttons enable direct transitions between linguistic versions or thematic modules, thereby eliminating the need for extensive scrolling.
- Symbols and pictographic indicators are applied for the rapid identification of material types (e.g., scholarly text, tabular data, graphical representation, or supplementary resources). All such components are consistently supported with textual alternatives for assistive technologies.

Adaptation to assistive and compensatory technologies:

- Platforms are designed for full interoperability with screen readers, magnification software, and other assistive solutions.
- The design framework incorporates high-contrast color schemes and dynamically scalable typography, thereby ensuring perceptual comfort for users with partial vision.
- Tabular and graphical representations are systematically supplemented with textual annotations and descriptive layers, which convey the semantic content of the visual data.

Voice guidance and auditory cues:

- Core materials may be supplemented with audio narration of key sections in addition to navigational prompts that guide users throughout the digital environment.
- Voice-based interaction mechanisms provide an alternative channel of engagement, allowing for orientation within sequences of materials without reliance on visual perception, thus significantly broadening the scope of user inclusivity.

Reference language and quality assurance of translations:

- The consistent use of a designated reference language (most commonly English) ensures the preservation of logical coherence, terminological

precision, and semantic integrity across multilingual adaptations. This is of particular importance for individuals with visual impairments, who depend upon the stability of navigational frameworks and linguistic accuracy to access and process information effectively.

Practical Advantages of the Approach:

- **Inclusivity:** This approach ensures equitable access to scientific, professional, business, and cultural-artistic resources for individuals with visual impairments. By embedding accessibility mechanisms directly into the core design, persons who traditionally face barriers in accessing textual, tabular, or multimedia content can participate fully across scholarly, professional, business, and artistic domains. The methodology fosters social inclusion by creating a platform where all users, irrespective of sensory limitations, have equal opportunities to engage with materials.
- **Efficiency:** Structured content organized into clearly defined thematic blocks, combined with interactive navigation elements, enables users to navigate extensive volumes of information efficiently. This reduces cognitive load and search time, allowing scholars, professionals, and cultural practitioners to locate, analyze, and synthesize relevant information rapidly and accurately. For visually impaired users, interactive cues and screen-reader-compatible elements further enhance operational efficiency across all content types.
- **Universality:** The principles of interactive multilingualism are applicable across scientific series, professional documentation, business materials, and cultural-artistic projects. This universality ensures accessibility, terminological precision, and logical coherence simultaneously. Regardless of whether the platform presents scholarly research, professional reports, business documents, literary collections, or multimedia exhibitions, the methodology guarantees consistency in content delivery while accommodating diverse linguistic and sensory needs.
- **Social Innovation:** Traditional approaches to multilingual platforms rarely integrate comprehensive inclusivity as a core feature. Consequently, interactive multilingualism represents a pioneering example of a fully integrated inclusive methodology, filling gaps in existing systems and establishing a benchmark for socially responsible digital design across academic, professional, business, and cultural contexts.

Interactivity Across Different Types of Materials:

Within projects encompassing scientific, professional, business, and cultural-artistic materials, interactive elements perform a range of practical functions aimed at enhancing usability and content accessibility:

- ***Seamless language switching***: Users can switch between different language versions of materials without loss of style, accuracy, or semantic nuances. This ensures the preservation of the author's voice in literary works while maintaining terminological precision in scientific, professional, and business texts.
- ***Access to supplementary materials***: Interactive links provide explanations of terms, glossaries of specialized concepts, or contextual information related to the content. This approach enhances comprehension and engagement, particularly for users who are non-native speakers, individuals with visual impairments, and those with limited access to traditional reference resources.
- ***Audio and text prompts***: Narration and textual cues enable users with visual impairments to effectively engage with any type of material — scientific, professional, business, or artistic. Multimodal management systems provide equitable access to information for all users, supporting inclusive participation and comprehensive content understanding regardless of format.
- ***Integration of intercultural and interdisciplinary dialogue***: Interactive elements foster intercultural and interdisciplinary interaction by connecting materials, annotations, and explanatory resources while maintaining accessibility for a broad international audience. This approach encourages cross-cultural understanding, scientific collaboration, and professional communication, ensuring logical coherence, inclusivity, and ease of navigation across different types of materials.

Conclusions

Thus, interactive multilingualism, when combined with elements of accessibility, establishes a new paradigm of universal communication. It simultaneously provides structural coherence, terminological accuracy, inclusivity, and user-friendly functionality for diverse groups of users, including individuals with visual impairments. This approach creates favorable conditions for the sustainable development of scientific, professional, and cultural-artistic series in the global digital environment, demonstrating both the practical novelty and the social significance of the interactive multilingual methodology.

The interactive multilingual methodology guarantees consistency of terminology, semantic meaning, and logical structure across all linguistic versions of a text [1, 2]. Semantic translation, coupled with rigorous quality control procedures such as back-translation, ensures precision, reliability, and academic credibility [5, 8]. These mechanisms are crucial for preventing semantic drift across languages, particularly in contexts where technical accuracy and conceptual integrity are paramount.

In practical terms, the methodology demonstrates high effectiveness across several domains:

- Scientific publishing: enhancing the visibility of research outputs, ensuring compliance with international indexing systems (e.g., Scopus, Web of Science, DOAJ), and facilitating participation in global academic debates.
- Literary and artistic projects: preserving stylistic integrity while opening access to wider international readerships, thereby supporting intercultural dialogue and recognition of creative works across linguistic boundaries.
- Administrative and business documentation: ensuring legal precision, terminological standardization, and transparency in decision-making processes across multilingual and multinational organizations [4, 7].

An equally important component of this methodology lies in its interactive dimension. The integration of interactive symbols, navigation buttons, hyperlinks, and semantic markup allows users to switch seamlessly between languages and structural sections. This significantly increases accessibility and usability, particularly in digital environments characterized by large volumes of academic, professional, or creative content [3, 9]. From the perspective of inclusive design, the ability to combine multilingualism with interactive navigation also enhances accessibility for users with visual impairments by facilitating compatibility with screen readers, text-to-speech software, and adaptive display tools.

Beyond its current applications, the methodology holds substantial potential for adaptation to other international series and platforms. Its integration into global research infrastructures—including ORCID, Crossref, institutional repositories, and open-access publishing frameworks—could ensure not only enhanced visibility but also sustained citability of publications in a global context.

Furthermore, its alignment with international accessibility standards such as WCAG 2.1 [11] and ISO 9241-171 [12] ensures that content produced or shared using this methodology adheres to recognized principles of inclusive design. WCAG 2.1 provides detailed guidelines to make web-based materials accessible for people with visual, auditory, cognitive, or motor impairments, while ISO 9241-171 focuses on ergonomic principles for software accessibility, enhancing usability for a broader audience. By integrating these standards, the methodology promotes not only compliance but also the creation of materials that are equitable, inclusive, and universally usable.

Looking ahead, interactive multilingualism may evolve further through the incorporation of artificial intelligence–assisted translation, adaptive multilingual databases, and automated semantic verification tools. Such innovations will not only accelerate the translation and dissemination of materials but also preserve the

semantic precision and cultural sensitivity required in academic, legal, and artistic communication.

In conclusion, interactive multilingualism supported by accessibility features should not be viewed solely as a technical innovation. Rather, it represents a conceptual and methodological framework that reshapes the very nature of interaction between knowledge, culture, and governance. By combining precision and inclusivity, local specificity and global connectivity, the methodology provides a foundation for creating sustainable, universally accessible communication systems. Its transformative potential extends across science, business, and culture, making it a cornerstone of contemporary digital communication practices.

References

1. Hnatiuk, I. (2017). Multilingual scientific communication: theory and practice. Kyiv: Kyiv University Press.
2. Smith, J., & Johnson, R. (2021). Semantic translation in scientific publishing. *International Journal of Translation Studies*, 14(2), 101–119.
3. Garcia, I., Pérez, L., & Torres, M. (2020). Multilingual digital platforms: Interactive navigation and user experience. *Journal of Multilingual Communication*, 12(3), 45–62.
4. Melnyk, O. (2021). Terminological standardisation in multilingual documents. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv.
5. Baker, M. (2018). *In other words: A coursebook on translation* (3rd ed.). Routledge.
6. Cronin, M. (2017). *Translation and globalization*. Routledge.
7. StateGeoCadastre (2018). *Standards of office work and multilingual documents*. Kyiv: State Land Cadastre.
8. Gile, D. (2009). *Basic concepts and models for interpreter and translator training*. John Benjamins Publishing.
9. Shevchenko, T. (2019). *Interactive platforms and user experience*. Kharkiv: KHNU.
10. Kovalenko, L. (2020). *Literary and artistic translations: methodology and practice*. Kyiv: Naukova Dumka.
11. W3C. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
12. ISO 9241-171:2008. *Ergonomics of human-system interaction — Part 171: Guidance on software accessibility*.

[ES_1]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Metodología y multilingüismo de textos interactivos

Resumen

La metodología de presentación interactiva multilingüe de materiales textuales se conceptualiza como una herramienta universal capaz de garantizar la creación, armonización y difusión de materiales de diversos tipos —desde artículos científicos y monografías hasta colecciones literarias y artísticas, así como documentos empresariales y oficiales. Su singularidad radica en la combinación de dos aspectos interrelacionados: la universalidad lingüística y la navegación interactiva. Este enfoque permite superar las barreras entre diferentes escuelas científicas, tradiciones culturales y entornos administrativos, creando así una plataforma única y estructurada para la presentación de información.

El principio central consiste en el uso de un idioma base que sirve como punto de referencia central para todo el sistema de traducciones. Con mayor frecuencia, este rol se asigna al inglés, dado que se ha convertido en la lengua franca de la ciencia, la educación y la comunicación empresarial internacionales. No obstante, la metodología no se limita al inglés: cualquier texto puede ser creado originalmente en otro idioma —ucraniano, francés, alemán, japonés u otros. Si el original no está en inglés, se traduce al inglés y, simultáneamente, se amplía, refina y complementa para formar una versión base integral. Esta versión base se convierte posteriormente en la fuente única para todas las traducciones posteriores, garantizando precisión semántica, consistencia terminológica y coherencia lógica en todas las variantes lingüísticas.

La metodología proporciona un sistema de control de calidad multinivel. Primero, se emplea la práctica de la retrotraducción (back-translation) para identificar desviaciones semánticas entre el original y la traducción. Segundo, se involucran filólogos profesionales y hablantes nativos para realizar la adaptación estilística y cultural del texto. Tercero, se aplica la estandarización de formatos: títulos, numeración, notaciones, estructuras de referencias y bibliografías se

unifican. Gracias a estos mecanismos, los materiales integrados pueden ser incorporados sin problemas en bases de datos científicas internacionales —Scopus, Web of Science, DOAJ—, así como en plataformas oficiales multilingües empresariales, legales y culturales.

El artículo presenta los principios de construcción del idioma base, los algoritmos para la traducción y armonización de versiones multilingües, y las descripciones de diagramas de bloques interactivos y tablas de navegación. Como estudios de caso, se consideran series científicas (“InPlatform”) y colecciones literario-artísticas (la serie “Luz en el Alma”). No obstante, la universalidad del enfoque propuesto permite su aplicación también en prácticas empresariales y de documentos oficiales. Se hace especial énfasis en las perspectivas de universalización de esta metodología para cualquier tipo de documento, donde la combinación de multilingüismo, interactividad y estandarización abre nuevas oportunidades para el uso efectivo de la información.

Así, la metodología de presentación interactiva multilingüe de materiales textuales tiene importancia estratégica. Combina estandarización y flexibilidad, precisión científica y diversidad cultural, especificidades locales y normas internacionales. Su implementación contribuye tanto al avance de la investigación académica como a la difusión de prácticas artísticas y empresariales dentro del espacio informativo global.

Palabras clave: publicación multilingüe, navegación interactiva, idioma base, traducción semántica, series científicas y artísticas, documentos empresariales, armonización de versiones, normas internacionales, Scopus, Web of Science, DOAJ, adaptación cultural, retrotraducción.

Introducción

En las publicaciones científicas, profesionales y culturales contemporáneas, uno de los aspectos críticos es garantizar traducciones de alta calidad, navegación conveniente y accesibilidad universal de los materiales. Esta cuestión se vuelve particularmente relevante en ediciones multilingües, donde la precisión semántica, la presentación estructurada y la inclusividad para todas las categorías de usuarios determinan directamente tanto la eficacia de la comunicación como la visibilidad internacional de los resultados de investigación.

La metodología interactiva multilingüe propuesta proporciona accesibilidad no solo para usuarios con visión normal, sino también para personas con discapacidad visual o ceguera total, permitiendo el uso de tecnologías asistivas como Braille e interfaces de voz. Este enfoque asegura un alto nivel de inclusividad al combinar los principios del diseño universal con los requisitos de la comunicación académica y profesional.

La novedad científica de la metodología radica en la integración de tres componentes interrelacionados:

- la evaluación de la precisión semántica en las traducciones, previniendo la acumulación de distorsiones relacionadas con el significado;
- la interactividad de los bloques de navegación, que mejora la usabilidad y adaptabilidad de los materiales;
- la accesibilidad para usuarios con discapacidad visual mediante la incorporación de formatos especializados y tecnologías asistivas.

La comunicación académica, cultural y empresarial moderna no puede funcionar sin recursos multilingües, ya que el intercambio global de información presupone la interacción entre representantes de distintos países, escuelas de investigación, tradiciones culturales y sistemas administrativos. En la publicación académica, el multilingüismo contribuye a una mayor visibilidad internacional de la investigación en bases de datos indexadas como Scopus, Web of Science y DOAJ, otorgando un acceso más amplio a resultados y metodologías relevantes [1, 2]. En colecciones literarias y artísticas, respalda el diálogo intercultural y la promoción de las obras de los autores [3, 4]. En el ámbito empresarial y de documentación oficial, el multilingüismo garantiza precisión legal y administrativa, cumplimiento de normas de gobernanza corporativa y facilita la cooperación internacional.

El objetivo de este artículo es presentar una metodología integral para la representación interactiva multilingüe de materiales textuales, que incluye:

- algoritmos para producir una versión base del texto con posteriores traducciones a otros idiomas, preservando la precisión semántica y la consistencia terminológica;
- mecanismos de navegación interactiva entre versiones lingüísticas y bloques estructurales;
- principios de control de calidad mediante retrotraducción, revisión experta y estandarización de formatos;
- adaptación para usuarios con discapacidad visual mediante la integración de Braille, interfaces de voz y otras herramientas asistivas.

Así, la metodología interactiva multilingüe se configura como un instrumento universal para publicaciones académicas, culturales y profesionales, combinando precisión semántica, claridad estructural, accesibilidad e inclusividad en el entorno global de información.

Fundamentos Teóricos del Multilingüismo Interactivo

Planteamiento del Problema

La comunicación global moderna y la internacionalización de la ciencia, la cultura y los negocios requieren materiales comprensibles y accesibles para hablantes de diferentes idiomas y representantes de diversas comunidades culturales.

Los materiales multilingües suelen enfrentarse a varios desafíos críticos que pueden afectar su calidad y efectividad:

- Acumulación de inexactitudes en la traducción secuencial. Cuando los materiales se traducen en múltiples etapas desde el idioma original a varios otros, los errores pueden acumularse, alterando potencialmente el significado previsto, particularmente en textos científicos o técnicos [5].
- Pérdida de semántica y coherencia lógica. Cada etapa de traducción puede modificar las estructuras de las oraciones y desplazar los énfasis semánticos, lo que conduce a la fragmentación del texto y a la distorsión de ideas clave [6].
- Inconsistencias en estilo, formato y terminología. Diferentes tipos de textos —científicos, legales, literarios— requieren la adhesión a normas específicas de formato, convenciones estilísticas y terminología precisa. Las desviaciones de estos estándares pueden reducir la claridad, la credibilidad y el valor académico o profesional de los materiales [4, 7].

Enfoques para la Resolución

Para abordar estos desafíos, se propone una metodología integral que combina universalidad lingüística, precisión semántica y tecnologías interactivas:

- Idioma Base. Una versión en un solo idioma —típicamente inglés— sirve como punto de referencia central para todas las demás traducciones. Esto garantiza la consistencia terminológica y minimiza las distorsiones de significado al traducir a otros idiomas.
- Traducción Semántica. Este enfoque preserva el significado no solo a nivel léxico, sino también en términos de la estructura lógica y las relaciones conceptuales del texto original [2].
- Control de Calidad. Los procedimientos incluyen retrotraducción, evaluación experta por lingüistas y hablantes nativos, y verificación de la consistencia de formatos y estructuras para asegurar tanto la adaptación estilística como cultural [1, 8].
- Navegación Interactiva. El uso de botones, símbolos o hipervínculos permite a los usuarios cambiar fácilmente entre versiones lingüísticas y bloques estructurales del material, mejorando la accesibilidad y la experiencia del usuario [3, 9].

Algoritmo para la Preparación de Materiales Interactivos Multilingües

Textos Científicos:

- Creación de la Versión Base: El material original se traduce al inglés, incorporando la aclaración terminológica, contenido explicativo adicional y optimización estructural.

- Traducciones a Otros Idiomas: Las traducciones posteriores se realizan directamente a partir de la versión base en inglés, asegurando una alta precisión semántica.
- Navegación Interactiva: Símbolos o botones indican las versiones lingüísticas disponibles, permitiendo un cambio intuitivo entre ellas.
- Control de Calidad: La retrotraducción y la verificación por expertos reducen errores y distorsiones [8].

Textos Literarios y Artísticos:

- Texto Original: Creado en ucraniano u otro idioma nacional.
- Traducciones: Realizadas al inglés, francés, alemán, italiano, español y otros idiomas de destino, prestando atención a las particularidades estilísticas y culturales.
- Navegación Interactiva: Los botones permiten a los lectores cambiar rápidamente entre idiomas y secciones del texto.
- Formato: El texto puede mostrarse en una o dos columnas, adaptado a diferentes plataformas y formatos de lectura [10].

Textos Empresariales y Oficiales:

- Creación de la Versión Base: Los documentos originales se traducen al inglés cumpliendo con normas internacionales de formato, numeración, encabezados y referencias.
- Traducciones a Otros Idiomas: Se realizan directamente desde el inglés, considerando los requisitos legales, administrativos y profesionales de los públicos destinatarios.
- Navegación Interactiva: Botones o símbolos permiten un cambio eficiente entre versiones lingüísticas.
- Estandarización de Formato: Garantiza el cumplimiento de normas internacionales y políticas corporativas [4, 7].

Aplicaciones Prácticas:

- Serie "InPlatform": Integración de materiales científicos en una plataforma multilingüe; tablas interactivas y botones de navegación mejoran la accesibilidad del usuario.
- Serie "Luz en el Alma": Textos literarios y artísticos adaptados para lectura multilingüe, incluyendo encabezados, pies de página y botones de contenido interactivo.
- Documentos Empresariales: Las versiones estandarizadas en inglés sirven como base de traducción; la navegación interactiva facilita el acceso a usuarios internacionales.

Este enfoque sistemático garantiza no solo un alto nivel de precisión semántica y consistencia estilística, sino también la accesibilidad de los materiales a una

audiencia global. Proporciona universalidad, interactividad y estandarización, mejorando así la eficiencia, la usabilidad y el alcance de los materiales multilingües en los ámbitos científico, artístico y profesional.

Ventajas e Innovación del Enfoque

La metodología multilingüe interactiva constituye un sistema integral que combina precisión científica, adaptación cultural e integración tecnológica. Este enfoque ofrece diversas ventajas clave aplicables a todo tipo de materiales textuales —desde publicaciones académicas y artículos científicos hasta obras literarias y documentos profesionales—, mejorando tanto la calidad como la accesibilidad del contenido en distintos contextos lingüísticos y culturales.

Consistencia del Contenido y la Terminología

- El uso de un idioma base, que sirve como estándar central para todas las traducciones, previene la acumulación de errores y el “efecto teléfono” que a menudo ocurre durante traducciones secuenciales entre múltiples idiomas.
- La traducción semántica garantiza la preservación de la coherencia lógica, la consistencia conceptual y el significado en todas las versiones lingüísticas, asegurando que los términos clave, conceptos científicos y matices culturales se mantengan intactos al adaptar los textos para una audiencia internacional.
- Esta metodología mejora significativamente la precisión y la fiabilidad de los materiales académicos, profesionales y artísticos, lo cual resulta especialmente crítico para publicaciones en bases de datos cientométricas, revistas internacionales y series literarias [1, 2].
- La consistencia en estilo, formato y elementos estructurales asegura que los materiales estén organizados profesionalmente y listos para su uso tanto en contextos internacionales como locales.
- Al mantener la exactitud conceptual a través de los idiomas, se minimiza el riesgo de malinterpretación, lo cual es crucial para comunicaciones legales, científicas y corporativas.

Navegación Interactiva

- La integración de elementos interactivos, como botones, símbolos e hipervínculos, permite a los usuarios cambiar de manera fluida entre diferentes versiones lingüísticas y bloques estructurales del material.
- Esto mejora la experiencia del usuario y la accesibilidad, permitiendo que investigadores, estudiantes y profesionales naveguen rápidamente hacia las secciones que necesitan en el idioma que prefieran [3, 9].
- La navegación interactiva respalda la organización lógica del contenido, facilita el aprendizaje, la investigación y el uso profesional, y sustenta el desarrollo de plataformas digitales intuitivas para la difusión de contenidos multilingües.

Navegación Interactiva y Visibilidad

- La inclusión de botones, símbolos e hipervínculos permite cambiar fácilmente entre idiomas y secciones del material, mejorando la experiencia del usuario y la accesibilidad [3, 9].
- La navegación interactiva facilita la organización lógica del contenido, el aprendizaje, la investigación y el uso profesional en plataformas digitales multilingües.
- La estructura multilingüe, el formato estandarizado y el cumplimiento de protocolos internacionales de metadatos permiten integrar los materiales en bases de datos como Scopus, Web of Science y repositorios de acceso abierto (DOAJ), aumentando visibilidad, citación y accesibilidad a largo plazo.
- La metodología es adaptable a publicaciones literarias internacionales, plataformas educativas y sistemas corporativos, promoviendo colaboración académica intercultural y difusión global eficiente.

Universalidad y Aplicabilidad

La metodología propuesta presenta un alto grado de universalidad, siendo aplicable a materiales académicos, científicos, literarios, artísticos, profesionales y oficiales, especialmente donde la precisión, la estructura lógica y la accesibilidad multilingüe son esenciales.

Establece un sistema unificado para gestionar y presentar contenidos textuales, asegurando estandarización de formatos, consistencia estilística, numeración, tablas, figuras y diagramas, al tiempo que preserva la identidad cultural, los matices de género y la profundidad semántica del original.

La integración de multilingüismo, interactividad y estandarización crea un marco potente para el intercambio de conocimiento. Herramientas interactivas como glosarios dinámicos, referencias cruzadas adaptativas y elementos visuales vinculados permiten acceder a materiales en varios idiomas sin comprometer precisión ni legibilidad.

La metodología facilita la investigación interdisciplinaria, la educación internacional y la colaboración creativa entre diferentes culturas y lenguas.

Su universalidad permite integrar tipos de textos heterogéneos en un ecosistema digital estructurado único, incluyendo artículos académicos, obras literarias, informes oficiales y anotaciones multimedia, conectados mediante metadatos estandarizados, indexación multilingüe y navegación cruzada.

Al garantizar compatibilidad con estándares internacionales de publicación y protocolos de metadatos (DOI, ORCID, MARC, Dublin Core), la metodología asegura interoperabilidad con bases de datos científicas, repositorios institucionales y archivos culturales, reforzando la preservación y accesibilidad del contenido a largo plazo.

Sobre la base de estos principios, se desarrollan diagramas interactivos multilingües para visualizar las interconexiones entre idiomas, disciplinas y tipos de contenido. Dichos diagramas pueden ilustrar no solo relaciones estructurales, sino también paralelos semánticos y culturales dentro de un marco informativo unificado, mejorando tanto la comprensión como la participación (Fig. 1).

Opción 1 – Breve:

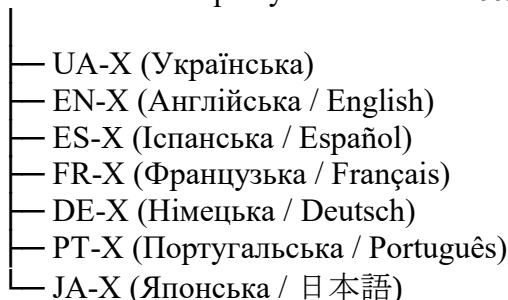
x – назва матеріалу / material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

Opción 2 – Nombre traducido por separado:

x – назва матеріалу
x – material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

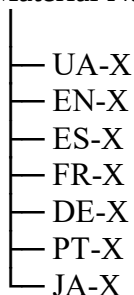
Opción 3 – Esquema extendido con bloques:

Блок X – Назва матеріалу / Block X – Material Name



Opción 4 – Esquema simplificado detallado:

X – Назва матеріалу
X – Material Name



Explicación:

- [UA-X], [EN-X] - son enlaces interactivos a las versiones correspondientes en cada idioma.
- X — indica el número del material, página o bloque ordinal dentro del contenido.
- Esta estructura permite mostrar cualquier material de manera universal, manteniendo consistencia y estandarización.
- Es adecuada para artículos científicos, obras literarias y artísticas, así como documentos empresariales.

Fig. 1. Algoritmo de estructura universal de materiales

Fuente: desarrollo del autor.

El objetivo de este artículo es presentar una metodología universal para la presentación interactiva multilingüe de materiales textuales. Esta incluye algoritmos para crear una versión base del texto y su posterior traducción a otros idiomas, considerando la precisión semántica y la consistencia terminológica, así como mecanismos de navegación interactiva entre versiones lingüísticas y bloques

estructurales del material. El control de calidad se garantiza mediante retrotraducción, revisión experta y estandarización de formatos.

Para una evaluación sistemática de la eficacia de los materiales multilingües, se proponen indicadores cuantitativos. La precisión semántica de la traducción (St) ayuda a prevenir la acumulación de errores relacionados con el significado y evalúa la conformidad de la terminología y la fraseología con los estándares establecidos. Simultáneamente, la interactividad de los bloques de navegación (In) determina la facilidad de transición entre versiones lingüísticas y elementos estructurales del texto, incrementando así el valor general del material para el usuario.

El enfoque propuesto ilustra la aplicación práctica de la metodología en diversos tipos de publicaciones: series científicas ("InPlatform"), colecciones literarias y artísticas ("Luz en el Alma"), y documentos empresariales. Garantiza flexibilidad, estandarización de estructura y formato, al tiempo que preserva la precisión semántica, la autenticidad cultural y la accesibilidad del contenido para todas las categorías de usuarios, incluyendo personas con discapacidad visual que utilizan interfaces basadas en Braille o voz.

El fundamento de la metodología implica un análisis detallado de las características de navegación de los textos en materiales científicos, empresariales y creativos, lo que permite identificar indicadores clave de estructura y accesibilidad, y formar un enfoque universal para evaluar la interactividad y la calidad de la traducción en publicaciones multilingües (Tabla 1).

1. Navegación para materiales científicos, empresariales y creativos

Назва / Named	UA	EN	FR	DE	ES	PT	JA
Розділ 1 / Material X	x	x	x	x	x	x	x
Розділ 2 / Material K	x	x	x	x	x	x	x
Розділ 3 / Material G	x	x	x	x	x	x	x
...	...	...	...	...	...	...	...

Explicación:

- Cada fila corresponde a un material independiente (científico, literario, artístico o empresarial).
- Las columnas UA, EN, FR, DE, ES, PT, JA son enlaces a las respectivas versiones lingüísticas.
- La tabla demuestra la versatilidad e interactividad de la navegación para cualquier tipo de material, ya sea una serie de publicaciones científicas multilingües interactivas, trabajos de oficina o colecciones y series literarias y artísticas [1, 4, 10].

Fuente: desarrollo del autor.

En las publicaciones científicas, profesionales y culturales contemporáneas, garantizar la calidad de la traducción y la comodidad de navegación de los materiales es de importancia crítica. Esto resulta particularmente relevante para ediciones multilingües, donde la precisión en la transferencia del significado y la presentación estructurada de la información afectan directamente tanto la percepción como la eficiencia comunicativa.

Para abordar estos desafíos, se ha propuesto una metodología interactiva multilingüe que combina un enfoque sistemático para la evaluación de la traducción con la valoración de la interactividad en la navegación, asegurando simultáneamente la inclusión de todas las categorías de usuarios, incluyendo personas con discapacidad visual. Los materiales pueden adaptarse para el uso de tecnologías de asistencia, como Braille, lectores de pantalla o interfaces de audio, haciéndolos accesibles para personas con baja visión o ceguera total.

La base para evaluar la calidad de la traducción en textos multilingües es el cálculo del coeficiente promedio de precisión semántica, que previene la acumulación de errores semánticos en la publicación multilingüe (Fórmula 1):

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

St - coeficiente promedio de precisión semántica;

Ci — puntuación de exactitud de la traducción del i-ésimo término o frase (1 — completamente exacto, 0 — significado perdido);

n — número de términos o frases en el texto.

Este coeficiente se utiliza para evaluar la calidad de la traducción y prevenir la acumulación de errores semánticos en publicaciones multilingües.

Fuente: desarrollo del autor.

El cálculo de St permite una evaluación sistemática de las traducciones y posibilita determinar el nivel de cumplimiento terminológico y fraseológico con los estándares establecidos. Sobre la base de este indicador, no solo se pueden identificar errores, sino también desarrollar estrategias correctivas para mejorar la precisión en versiones posteriores del material.

Simultáneamente, la evaluación de la eficiencia de los bloques de navegación garantiza la interactividad y usabilidad del texto. Para ello, se determina el porcentaje de interactividad del material (Fórmula 2):

$$I_n = \frac{B_a}{B_t} \quad (2)$$

Donde:

In - porcentaje de interactividad (disponibilidad de botones o símbolos de navegación);

Ba — número de bloques de navegación activos;

Bt — número total de bloques en el material.

Este indicador se utiliza para evaluar la facilidad de navegación entre versiones lingüísticas y bloques estructurales.

Fuente: desarrollo del autor.

Sobre la base de este indicador, se evalúa la comodidad de navegación entre versiones lingüísticas y elementos estructurales del texto. Un alto nivel de interactividad facilita la orientación del usuario, simplifica el acceso a la información y aumenta el valor general del material para los usuarios.

La novedad del enfoque propuesto radica en que el cálculo de St e In también puede aplicarse a versiones adaptadas de los materiales diseñadas para usuarios con discapacidad visual. Por ejemplo, en la integración de Braille, interfaces de audio o herramientas de navegación especializadas, es posible evaluar:

- la precisión semántica de la transferencia de información (St) en formatos accesibles;
- la eficacia de la navegación (In) a través de bloques estructurales y versiones lingüísticas para todas las categorías de usuarios.

Así, la combinación de precisión semántica en la traducción con la interactividad de los bloques de navegación y la accesibilidad para usuarios con discapacidad visual proporciona una base para desarrollar textos multilingües que sean precisos, estructurados, amigables para el usuario e inclusivos. Este enfoque integral aumenta el valor científico, profesional y cultural de las publicaciones al garantizar interactividad, accesibilidad e inclusión.

Además, la metodología permite la adaptación de materiales textuales a diversas plataformas y formatos de publicación, asegurando consistencia en la traducción, interactividad y accesibilidad en un contexto multilingüe. Esto convierte el enfoque propuesto en una herramienta universal para contenidos científicos, profesionales y culturales modernos.

Discusión

Hoy en día, la interactividad y el multilingüismo emergen no solo como herramientas técnicas de traducción, sino como principios conceptuales para la estructuración de contenidos en series contemporáneas. Estas series combinan universalidad y estandarización, considerando al mismo tiempo los requerimientos específicos de contextos diversos, incluyendo ámbitos científicos, profesionales, administrativos y culturales-artísticos. Este enfoque permite crear materiales en los que cada versión lingüística no es una copia aislada, sino un componente integral de un ecosistema de información interactivo, garantizando coherencia lógica, consistencia terminológica y precisión semántica.

Un aspecto particularmente significativo es la accesibilidad de los materiales para personas con discapacidad visual, característica en gran medida ausente en los enfoques tradicionales de contenido multilingüe. La metodología interactiva multilingüe incorpora funciones elementales pero críticamente importantes, tales como el uso de elementos de navegación, cambio rápido entre versiones lingüísticas y módulos temáticos, compatibilidad con lectores de pantalla, escalado de fuentes, guía por voz y lógica estructurada del contenido. Este enfoque no solo mejora la accesibilidad, sino que establece un nuevo nivel de inclusión en series científicas, profesionales y culturales-artísticas.

En el ámbito científico, la interactividad y el multilingüismo contribuyen a:

- garantizar la exactitud y consistencia terminológica, especialmente en investigaciones interdisciplinarias;
- proporcionar acceso a los materiales para la comunidad internacional en múltiples idiomas sin pérdida de significado ni de estructura lógica;
- la integración en bases de datos cientométricas globales (p. ej., Scopus, Web of Science, DOAJ), aumentando la visibilidad de las publicaciones y promoviendo el desarrollo de redes científicas transnacionales.

En los sectores empresarial y administrativo, el multilingüismo interactivo asegura:

- transparencia en las comunicaciones, exactitud legal y neutralidad estilística de los documentos;
- reducción de malentendidos en corporaciones multinacionales y organizaciones internacionales;
- condiciones para asociaciones internacionales efectivas, en las que cada versión lingüística tiene validez informativa y legal equivalente.

En el ámbito cultural y artístico, el multilingüismo interactivo actúa como un mecanismo principal para el diálogo intercultural, es decir, la comunicación estructurada entre diferentes comunidades lingüísticas y culturales. Esta metodología permite que textos artísticos, colecciones literarias y proyectos creativos superen las barreras del idioma, preservando la integridad estilística del autor y la cohesión estética de la obra (manteniendo el efecto artístico y la estructura narrativa previstos en todos los idiomas). Como resultado, se generan nuevos espacios culturales donde las obras creativas alcanzan reconocimiento internacional, fomentando una audiencia global y promoviendo la comprensión intercultural. En este contexto, el multilingüismo interactivo funciona no solo como una herramienta de traducción, sino como un marco dinámico para el intercambio cultural.

La interactividad en entornos digitales se implementa mediante varios mecanismos que mejoran la usabilidad, la comprensión y la accesibilidad:

- Bloques temáticos estructurados y organización jerárquica del contenido (disposición sistemática de los materiales en unidades lógicamente secuenciadas), que guían a los usuarios de manera coherente a través del contenido, facilitando tanto la investigación como las actividades educativas;
- Cambio rápido de idioma (capacidad de alternar de forma fluida entre múltiples versiones lingüísticas del mismo contenido), preservando la fidelidad semántica y permitiendo el acceso al material en el idioma preferido del usuario;
- Elementos de navegación integrados (botones interactivos, símbolos e hipervínculos), que permiten una exploración eficiente del contenido y mantienen el contexto al moverse entre secciones;

- Compatibilidad con software de accesibilidad (p. ej., lectores de pantalla, displays en Braille, herramientas de ampliación), asegurando que la plataforma sea inclusiva para usuarios con discapacidad visual u otras necesidades de accesibilidad.

El idioma principal de la plataforma (generalmente inglés) actúa como estándar de referencia para todas las traducciones, cumpliendo tres funciones críticas:

- Garantizar el control de calidad entre versiones multilingües;
- Prevenir la acumulación de errores de traducción;
- Mantener la consistencia semántica (preservando el significado del contenido en todos los idiomas).

Este enfoque permite el desarrollo de bases de datos multilingües, plataformas educativas y recursos de comunicación específicamente diseñados para satisfacer las diversas necesidades de un amplio espectro de usuarios, incluyendo estudiantes, investigadores, administradores públicos, directivos, profesionales culturales y personas con discapacidad. La integración de elementos interactivos posibilita la combinación fluida de contenido textual, audiovisual y multimedia, promoviendo una adquisición de conocimiento más profunda, fomentando la comunicación intercultural y apoyando el diálogo interdisciplinario a través de distintos campos de estudio y práctica profesional.

La combinación de interactividad y multilingüismo aumenta la flexibilidad, adaptabilidad y resiliencia de las plataformas digitales, permitiendo a los usuarios navegar de manera fluida entre idiomas, secciones temáticas y módulos de aprendizaje sin comprometer la estructura lógica ni la integridad conceptual del material original. Esto asegura que la información permanezca precisa, accesible y culturalmente relevante en un entorno educativo y científico globalizado, donde el conocimiento debe comunicarse de manera efectiva a través de diferentes contextos y audiencias.

Además, las plataformas multilingües e interactivas ofrecen oportunidades para el aprendizaje adaptativo, permitiendo que el contenido se personalice según los conocimientos previos del usuario, su ritmo de aprendizaje y sus necesidades académicas o profesionales. Esta personalización no solo mejora los resultados de aprendizaje y la motivación, sino que también fomenta el desarrollo del pensamiento crítico y las habilidades analíticas, al involucrar activamente a los usuarios con el contenido en lugar de consumirlo de manera pasiva.

El enfoque multilingüe contribuye significativamente a la inclusión en el entorno digital, asegurando un acceso equitativo a los recursos para usuarios con distintos niveles de competencia lingüística, habilidades cognitivas y alfabetización digital. Apoya el desarrollo de competencias digitales, la adaptación social y la integración profesional de personas con discapacidad, al mismo tiempo que abre

nuevas oportunidades para la educación a distancia, la colaboración internacional y el intercambio de conocimiento intercultural.

Asimismo, las metodologías interactivas multilingües facilitan la creación de comunidades de práctica, permitiendo a los participantes compartir resultados de investigación, materiales educativos y buenas prácticas. Estos entornos colaborativos estimulan la cooperación interdisciplinaria, aceleran la difusión global del conocimiento y fortalecen iniciativas de innovación y desarrollo sostenible en los ámbitos científico, educativo y profesional.

Por lo tanto, la metodología interactiva multilingüe surge como una herramienta universal y robusta para el desarrollo de contenidos científicos, educativos, profesionales y culturales contemporáneos. Combina coherencia estructural, precisión terminológica y adaptabilidad tecnológica con principios de apertura, accesibilidad e inclusión centrada en el ser humano, estableciendo un nuevo paradigma para la producción de conocimiento, el aprendizaje y la comunicación dentro del ecosistema digital global.

La relevancia práctica de implementar metodologías interactivas multilingües se subraya por su amplia aplicación en distintos ámbitos, lo que asegura la obtención de beneficios clave y resultados tangibles alineados con criterios de eficiencia establecidos (Tabla 2).

2. Aplicación comparativa de la metodología interactiva multilingüe en diferentes áreas

Ámbito	Principales ventajas	Problemas a resolver
Académico (Scopus, WoS)	Aumenta la visibilidad y citación; garantiza precisión terminológica	Previene desplazamiento semántico; estandariza sistemas de referencias
Literario y cultural	Promueve el diálogo intercultural; amplía la audiencia; preserva características estilísticas	Evita la pérdida de contexto cultural en la traducción
Profesional (empresarial)	Garantiza claridad en contratos, informes y comunicaciones corporativas; cumplimiento de normas	Elimina inconsistencias terminológicas entre jurisdicciones
Oficial y legal	Asegura precisión legal, coherencia administrativa y compatibilidad con marcos globales	Minimiza el riesgo de mala interpretación en documentos críticos

Fuentes: elaboración propia basada en [1-6, 9].

Este marco enfatiza además que la interactividad debe considerarse no solo como una característica técnica, sino como una herramienta pedagógica y cultural (que favorece la participación, la comprensión y la retención del conocimiento), y que el soporte multilingüe va más allá de la traducción literal, funcionando como un

puente que conecta audiencias, perspectivas y marcos interpretativos diversos. Esta metodología garantiza que el conocimiento y la expresión creativa sean accesibles, inclusivos e impactantes a través de fronteras lingüísticas y culturales.

Tras el análisis de la implementación de la metodología interactiva multilingüe en diversos ámbitos, resulta esencial examinar en mayor profundidad los mecanismos prácticos de interactividad y adaptabilidad diseñados específicamente para personas con discapacidad visual. Estos mecanismos no solo generan un valor funcional adicional, sino que también subrayan el carácter innovador y transformador del enfoque propuesto.

Dentro de las plataformas digitales, la interactividad se operacionaliza mediante una combinación sinérgica de bloques de contenido estructurados, componentes de navegación e interfaces de gestión de contenido. Esta integración facilita una orientación eficiente dentro de volúmenes extensos de material. Para las personas con discapacidad visual, estos elementos interactivos tienen una importancia particular, ya que constituyen una puerta de acceso a información previamente parcial o totalmente inaccesible.

Componentes fundamentales de la interactividad con integración de accesibilidad

Bloques temáticos estructurados:

- El contenido se organiza sistemáticamente en secciones coherentes con encabezados explícitos, permitiendo a los usuarios orientarse rápidamente dentro del entorno textual.
- Cada sección incorpora metadatos y etiquetas semánticas para garantizar compatibilidad con tecnologías de lectura de pantalla, permitiendo a los usuarios con discapacidad visual transitar eficazmente entre los distintos segmentos del material.

Elementos de navegación:

- Hipervínculos y botones interactivos permiten transiciones directas entre versiones lingüísticas o módulos temáticos, eliminando la necesidad de desplazamiento extenso.
- Se aplican símbolos e indicadores pictográficos para la identificación rápida del tipo de material (p. ej., texto académico, datos tabulares, representaciones gráficas o recursos complementarios). Todos estos componentes cuentan con alternativas textuales consistentes para tecnologías de asistencia.

Adaptación a tecnologías de asistencia y compensatorias:

- Las plataformas están diseñadas para plena interoperabilidad con lectores de pantalla, software de ampliación y otras soluciones de asistencia.

- El marco de diseño incorpora esquemas de colores de alto contraste y tipografía escalable dinámicamente, asegurando confort perceptivo para usuarios con visión parcial.
- Representaciones tabulares y gráficas se complementan sistemáticamente con anotaciones textuales y capas descriptivas que transmiten el contenido semántico de los datos visuales.

Guía por voz y señales auditivas:

- Los materiales centrales pueden incluir narración de secciones clave, además de indicaciones de navegación que guían a los usuarios por el entorno digital.
- Los mecanismos de interacción basados en voz proporcionan un canal alternativo de participación, permitiendo orientación dentro de secuencias de materiales sin depender de la percepción visual, ampliando significativamente la inclusión de usuarios.

Idioma de referencia y aseguramiento de la calidad de las traducciones:

- El uso constante de un idioma de referencia designado (generalmente inglés) garantiza la preservación de la coherencia lógica, precisión terminológica e integridad semántica en adaptaciones multilingües. Esto es especialmente importante para personas con discapacidad visual, quienes dependen de la estabilidad de los marcos de navegación y la exactitud lingüística para acceder y procesar la información eficazmente.

Ventajas prácticas del enfoque:

- Inclusión: Garantiza acceso equitativo a recursos científicos, profesionales, empresariales y culturales-artísticos para personas con discapacidad visual. Al integrar mecanismos de accesibilidad directamente en el diseño central, quienes tradicionalmente enfrentan barreras para acceder a contenido textual, tabular o multimedia pueden participar plenamente en ámbitos académicos, profesionales, empresariales y artísticos.
- Eficiencia: El contenido estructurado en bloques temáticos claramente definidos, combinado con elementos de navegación interactiva, permite a los usuarios desplazarse eficientemente por grandes volúmenes de información. Esto reduce la carga cognitiva y el tiempo de búsqueda, facilitando que investigadores, profesionales y practicantes culturales localicen, analicen y sintetizen información relevante rápida y exactamente. Para usuarios con discapacidad visual, las señales interactivas y los elementos compatibles con lectores de pantalla mejoran aún más la eficiencia operativa en todos los tipos de contenido.
- Universalidad: Los principios del multilingüismo interactivo son aplicables a series científicas, documentación profesional, materiales empresariales y proyectos culturales-artísticos. Esta universalidad asegura simultáneamente

accesibilidad, precisión terminológica y coherencia lógica. Independientemente de si la plataforma presenta investigación académica, informes profesionales, documentos empresariales, colecciones literarias o exposiciones multimedia, la metodología garantiza consistencia en la entrega de contenido mientras acomoda diversas necesidades lingüísticas y sensoriales.

- **Innovación social:** Los enfoques tradicionales de plataformas multilingües raramente integran inclusión comprensiva como característica central. Por lo tanto, el multilingüismo interactivo representa un ejemplo pionero de metodología inclusiva completamente integrada, llenando vacíos en los sistemas existentes y estableciendo un referente para el diseño digital socialmente responsable en contextos académicos, profesionales, empresariales y culturales.

Interactividad en diferentes tipos de materiales:

En proyectos que abarcan materiales científicos, profesionales, empresariales y culturales-artísticos, los elementos interactivos cumplen diversas funciones prácticas para mejorar la usabilidad y accesibilidad del contenido:

- ***Cambio de idioma sin interrupciones:*** Los usuarios pueden alternar entre distintas versiones lingüísticas sin pérdida de estilo, exactitud o matices semánticos, preservando la voz del autor en obras literarias y la precisión terminológica en textos científicos, profesionales y empresariales.
- ***Acceso a materiales complementarios:*** Los enlaces interactivos proporcionan explicaciones de términos, glosarios de conceptos especializados o información contextual relacionada con el contenido. Este enfoque mejora la comprensión y participación, especialmente para hablantes no nativos, personas con discapacidad visual y quienes tienen acceso limitado a recursos de referencia tradicionales.
- ***Señales de audio y texto:*** La narración y las indicaciones textuales permiten a los usuarios con discapacidad visual interactuar eficazmente con cualquier tipo de material —científico, profesional, empresarial o artístico. Los sistemas de gestión multimodal proporcionan acceso equitativo a la información para todos los usuarios, apoyando la participación inclusiva y la comprensión integral del contenido sin importar el formato.
- ***Integración del diálogo intercultural e interdisciplinario:*** Los elementos interactivos fomentan la interacción intercultural e interdisciplinaria al conectar materiales, anotaciones y recursos explicativos, manteniendo la accesibilidad para una amplia audiencia internacional. Este enfoque promueve la comprensión intercultural, la colaboración científica y la comunicación

profesional, asegurando coherencia lógica, inclusión y facilidad de navegación en distintos tipos de materiales.

Conclusiones

El multilingüismo interactivo, cuando se combina con elementos de accesibilidad, establece un nuevo paradigma de comunicación universal. Proporciona simultáneamente coherencia estructural, precisión terminológica, inclusión y funcionalidad amigable para diversos grupos de usuarios, incluidas las personas con discapacidad visual. Este enfoque crea condiciones favorables para el desarrollo sostenible de series científicas, profesionales y culturales-artísticas en el entorno digital global, demostrando tanto la novedad práctica como la relevancia social de la metodología interactiva multilingüe.

La metodología interactiva multilingüe garantiza la consistencia de la terminología, el significado semántico y la estructura lógica en todas las versiones lingüísticas de un texto [1, 2]. La traducción semántica, junto con procedimientos rigurosos de control de calidad, como la retrotraducción, asegura precisión, fiabilidad y credibilidad académica [5, 8]. Estos mecanismos son cruciales para prevenir desviaciones semánticas entre idiomas, especialmente en contextos donde la exactitud técnica y la integridad conceptual son esenciales.

En términos prácticos, la metodología demuestra alta efectividad en varios dominios:

- Publicaciones científicas: mejora la visibilidad de los resultados de investigación, asegura cumplimiento con sistemas internacionales de indexación (p. ej., Scopus, Web of Science, DOAJ) y facilita la participación en debates académicos globales.
- Proyectos literarios y artísticos: preserva la integridad estilística y permite el acceso a audiencias internacionales más amplias, apoyando el diálogo intercultural y el reconocimiento de obras creativas a través de fronteras lingüísticas.
- Documentación administrativa y empresarial: garantiza precisión legal, estandarización terminológica y transparencia en los procesos de toma de decisiones en organizaciones multilingües y multinacionales [4, 7].

Un componente igualmente importante de esta metodología es su dimensión interactiva. La integración de símbolos interactivos, botones de navegación, hipervínculos y marcado semántico permite a los usuarios cambiar de manera fluida entre idiomas y secciones estructurales. Esto incrementa significativamente la accesibilidad y la usabilidad, especialmente en entornos digitales caracterizados por grandes volúmenes de contenido académico, profesional o creativo [3, 9]. Desde la perspectiva del diseño inclusivo, la combinación de multilingüismo con navegación interactiva mejora la accesibilidad para personas con discapacidad visual mediante

la compatibilidad con lectores de pantalla, software de conversión de texto a voz y herramientas de visualización adaptativa.

Más allá de sus aplicaciones actuales, la metodología tiene un considerable potencial de adaptación a otras series y plataformas internacionales. Su integración en infraestructuras globales de investigación —incluyendo ORCID, Crossref, repositorios institucionales y marcos de publicación en acceso abierto— podría garantizar no solo una mayor visibilidad, sino también la citabilidad sostenida de las publicaciones en un contexto global.

Además, su alineación con estándares internacionales de accesibilidad, como WCAG 2.1 [11] e ISO 9241-171 [12], asegura que los contenidos producidos o compartidos mediante esta metodología cumplan con principios reconocidos de diseño inclusivo. WCAG 2.1 proporciona directrices detalladas para hacer accesibles los materiales web para personas con discapacidades visuales, auditivas, cognitivas o motrices, mientras que ISO 9241-171 se centra en principios ergonómicos de accesibilidad de software, mejorando la usabilidad para una audiencia más amplia. Al integrar estos estándares, la metodología fomenta no solo el cumplimiento normativo, sino también la creación de materiales equitativos, inclusivos y universalmente utilizables.

De cara al futuro, el multilingüismo interactivo puede evolucionar mediante la incorporación de traducción asistida por inteligencia artificial, bases de datos multilingües adaptativas y herramientas automatizadas de verificación semántica. Estas innovaciones no solo acelerarán la traducción y difusión de materiales, sino que también preservarán la precisión semántica y la sensibilidad cultural necesarias en la comunicación académica, legal y artística.

En conclusión, el multilingüismo interactivo apoyado en características de accesibilidad no debe considerarse únicamente como una innovación técnica. Representa, más bien, un marco conceptual y metodológico que transforma la interacción entre conocimiento, cultura y gobernanza. Al combinar precisión e inclusión, especificidad local y conectividad global, la metodología proporciona una base para la creación de sistemas de comunicación sostenibles y universalmente accesibles. Su potencial transformador abarca ciencia, negocios y cultura, consolidándose como un pilar de las prácticas contemporáneas de comunicación digital.

Referencias

1. Hnatiuk, I. (2017). *Multilingual scientific communication: theory and practice*. Kyiv: Kyiv University Press.
2. Smith, J., & Johnson, R. (2021). Semantic translation in scientific publishing. *International Journal of Translation Studies*, 14(2), 101–119.

3. Garcia, I., Pérez, L., & Torres, M. (2020). Multilingual digital platforms: Interactive navigation and user experience. *Journal of Multilingual Communication*, 12(3), 45–62.
4. Melnyk, O. (2021). Terminological standardisation in multilingual documents. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv.
5. Baker, M. (2018). *In other words: A coursebook on translation* (3rd ed.). Routledge.
6. Cronin, M. (2017). *Translation and globalization*. Routledge.
7. StateGeoCadastre (2018). *Standards of office work and multilingual documents*. Kyiv: State Land Cadastre.
8. Gile, D. (2009). *Basic concepts and models for interpreter and translator training*. John Benjamins Publishing.
9. Shevchenko, T. (2019). *Interactive platforms and user experience*. Kharkiv: KHNU.
10. Kovalenko, L. (2020). *Literary and artistic translations: methodology and practice*. Kyiv: Naukova Dumka.
11. W3C. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
12. ISO 9241-171:2008. *Ergonomics of human-system interaction — Part 171: Guidance on software accessibility*.

[FR_1]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Méthodologie et multilinguisme des textes interactifs

Résumé

La méthodologie de présentation interactive et multilingue des matériaux textuels est conceptualisée comme un outil universel permettant la création, l'harmonisation et la diffusion de contenus de divers types : articles scientifiques, monographies, recueils littéraires et artistiques, ainsi que documents professionnels et administratifs. Son originalité réside dans la combinaison de deux aspects étroitement liés : l'universalité linguistique et la navigation interactive. Cette approche permet de surmonter les barrières entre écoles scientifiques, traditions culturelles et environnements administratifs, en créant une plateforme structurée unique pour la présentation de l'information.

Le principe fondamental repose sur l'utilisation d'une langue de base servant de point de référence central pour l'ensemble du système de traductions. Le plus souvent, ce rôle est attribué à l'anglais, devenu la lingua franca de la communication scientifique, éducative et commerciale internationale. Toutefois, la méthodologie ne se limite pas à l'anglais : tout texte peut être initialement rédigé dans une autre langue — ukrainienne, française, allemande, japonaise ou autre. Lorsque l'original n'est pas en anglais, il est traduit vers cette langue tout en étant simultanément enrichi, précisé et complété afin de constituer une version de base complète. Cette version de base devient ensuite la seule source de toutes les traductions ultérieures, garantissant ainsi l'exactitude sémantique, la cohérence terminologique et la logique interne à travers toutes les variantes linguistiques.

La méthodologie prévoit un système de contrôle de qualité à plusieurs niveaux. Premièrement, la rétrotraduction (back-translation) permet d'identifier les écarts sémantiques entre l'original et sa traduction. Deuxièmement, des philologues professionnels et des locuteurs natifs assurent l'adaptation stylistique et culturelle du texte. Troisièmement, une standardisation formelle est appliquée : titres, numérotations, notations, structures de références et bibliographies sont unifiés. Ces

mécanismes permettent l'inclusion aisée des matériaux dans les bases de données scientométriques internationales telles que Scopus, Web of Science ou DOAJ, ainsi que sur des plateformes professionnelles, juridiques et culturelles multilingues.

L'article présente les principes d'élaboration de la langue de base, les algorithmes de traduction et d'harmonisation des versions multilingues, ainsi que la description des schémas fonctionnels interactifs et des tables de navigation. À titre d'étude de cas, sont examinées les séries scientifiques (InPlatforma) et les collections littéraires et artistiques (Lumière dans l'âme). Cependant, l'universalité de l'approche proposée permet également son application dans les pratiques professionnelles et administratives. Une attention particulière est accordée aux perspectives d'universalisation de cette méthodologie pour tout type de document, où la combinaison du multilinguisme, de l'interactivité et de la standardisation ouvre de nouvelles possibilités d'utilisation efficace de l'information.

Ainsi, la méthodologie de présentation interactive et multilingue des matériaux textuels revêt une importance stratégique. Elle allie standardisation et flexibilité, rigueur scientifique et diversité culturelle, spécificités locales et normes internationales. Sa mise en œuvre contribue tant à l'avancement de la recherche académique qu'à la diffusion des pratiques artistiques et professionnelles dans l'espace informationnel mondial.

Mots-clés: publication multilingue, navigation interactive, langue de base, traduction sémantique, série scientifique et artistique, documents professionnels, harmonisation des versions, normes internationales, Scopus, Web of Science, DOAJ, adaptation culturelle, rétrotraduction.

Introduction

Dans les publications scientifiques, professionnelles et culturelles contemporaines, il est essentiel de garantir qualité des traductions, commodité de navigation et accessibilité universelle des matériaux. Cette problématique est particulièrement pertinente dans les éditions multilingues, où précision sémantique, structuration cohérente du contenu et inclusivité pour tous les utilisateurs déterminent directement l'efficacité de la communication et la visibilité internationale des résultats de la recherche.

La méthodologie interactive multilingue proposée vise à assurer l'accessibilité non seulement pour les utilisateurs voyants, mais également pour les personnes présentant une déficience visuelle partielle ou totale, en permettant l'utilisation de technologies d'assistance telles que le Braille et les interfaces vocales. Cette approche garantit un haut niveau d'inclusivité en combinant les principes du design universel avec les exigences de la communication académique et professionnelle.

La nouveauté scientifique de la méthodologie réside dans l'intégration de trois composantes interdépendantes:

- l'évaluation de la précision sémantique des traductions, évitant l'accumulation de distorsions de sens;
- l'interactivité des blocs de navigation, renforçant l'ergonomie et l'adaptabilité des matériaux;
- l'accessibilité pour les personnes malvoyantes grâce à l'incorporation de formats spécialisés et de technologies d'assistance.

La communication académique, culturelle et commerciale moderne repose sur des ressources multilingues, car l'échange mondial d'informations implique l'interaction entre représentants de différents pays, écoles de recherche, traditions culturelles et systèmes administratifs. Dans l'édition scientifique, le multilinguisme renforce la visibilité internationale des travaux dans des bases comme Scopus, Web of Science et DOAJ, tout en facilitant l'accès aux résultats et méthodologies pertinents [1, 2]. Dans les recueils littéraires et artistiques, il soutient le dialogue interculturel et la promotion des œuvres des auteurs [3, 4]. Dans la sphère des affaires et de la documentation officielle, il garantit la précision juridique et administrative, la conformité aux normes de gouvernance et facilite la coopération internationale.

L'objectif de cet article est de présenter une méthodologie complète de représentation interactive et multilingue des matériaux textuels, comprenant:

- des algorithmes de création d'une version de base du texte suivie de traductions dans d'autres langues, tout en préservant la précision sémantique et la cohérence terminologique;
- des mécanismes de navigation interactive entre les versions linguistiques et les blocs structurels;
- des principes de contrôle de qualité fondés sur la rétrotraduction, la révision experte et la standardisation des formats;
- une adaptation pour les utilisateurs malvoyants grâce à l'intégration du Braille, des interfaces vocales et d'autres outils d'assistance.

Ainsi, la méthodologie interactive multilingue apparaît comme un instrument universel pour les publications scientifiques, culturelles et professionnelles, combinant précision sémantique, clarté structurelle, accessibilité et inclusivité dans l'espace informationnel mondial.

Fondements théoriques du multilinguisme interactif

Problématique

La communication mondiale contemporaine et l'internationalisation de la science, de la culture et des affaires exigent des matériaux accessibles et compréhensibles pour des publics linguistiquement et culturellement diversifiés. Toutefois, les publications multilingues rencontrent plusieurs difficultés majeures susceptibles d'affecter leur qualité et leur fiabilité:

- Accumulation d'erreurs de traduction. Les traductions successives d'une langue à l'autre entraînent souvent une perte de précision et des distorsions de sens, particulièrement dans les textes scientifiques ou techniques [5].
- Altération de la cohérence sémantique. Chaque étape de traduction peut modifier la structure des phrases et déplacer les accentuations de sens, fragmentant ainsi le texte et affaiblissant la logique du discours [6].
- Incohérences stylistiques et terminologiques. Les textes scientifiques, juridiques ou littéraires exigent une uniformité de format, de style et de terminologie. Le non-respect de ces normes réduit la clarté et la crédibilité des matériaux [4, 7].

Approches de résolution

Pour répondre à ces défis, une méthodologie globale est proposée, combinant l'universalité linguistique, la précision sémantique et les technologies interactives:

- Langue de base. Une seule version linguistique — généralement l'anglais — sert de point de référence central pour toutes les autres traductions. Ce principe garantit la cohérence terminologique et réduit les distorsions de sens lors de la traduction vers d'autres langues.
- Traduction sémantique. Cette approche vise à préserver le sens non seulement sur le plan lexical, mais aussi dans la structure logique et les relations conceptuelles du texte original [2].
- Contrôle de qualité. Les procédures comprennent la rétrotraduction, l'évaluation experte par des linguistes et des locuteurs natifs, ainsi que la vérification de la cohérence formelle et structurelle, afin d'assurer à la fois l'adaptation stylistique et culturelle du texte [1, 8].
- Navigation interactive. L'utilisation de boutons, de symboles ou d'hyperliens permet aux utilisateurs de passer aisément d'une version linguistique à une autre et entre les différents blocs structurels du matériau, améliorant ainsi l'accessibilité et l'expérience de lecture [3, 9].

Algorithme de préparation des matériaux interactifs multilingues

Textes scientifiques:

- Création de la version de base. Le matériau original est traduit en anglais, en y intégrant une clarification terminologique, des compléments explicatifs et une optimisation de la structure.
- Traductions vers d'autres langues. Les traductions ultérieures sont effectuées directement à partir de la version anglaise de base, garantissant ainsi une haute précision sémantique et une cohérence conceptuelle.
- Navigation interactive. Des symboles ou boutons indiquent les versions linguistiques disponibles, permettant une commutation intuitive entre elles.
- Contrôle de qualité. La rétrotraduction et la vérification experte permettent de réduire les erreurs et les distorsions éventuelles [8].

Textes littéraires et artistiques:

- Texte original. Rédigé en ukrainien ou dans une autre langue nationale.
- Traductions. Réalisées en anglais, français, allemand, italien, espagnol et dans d'autres langues cibles, en tenant compte des nuances stylistiques et culturelles propres à chaque tradition.
- Navigation interactive. Des boutons permettent au lecteur de passer rapidement d'une langue à l'autre et d'explorer les différentes sections du texte.
- Mise en forme. Le texte peut être présenté en une ou deux colonnes, selon la plateforme ou le format de lecture, afin d'assurer une adaptation ergonomique et visuelle optimale [10].

Documents professionnels et administratifs:

- Création de la version de base. Les documents originaux sont traduits en anglais conformément aux standards internationaux de présentation : format, numérotation, titres et références.
- Traductions vers d'autres langues. Réalisées directement à partir de la version anglaise, en prenant en considération les exigences juridiques, administratives et professionnelles des publics cibles.
- Navigation interactive. Des boutons ou symboles facilitent la commutation rapide entre les versions linguistiques.
- Standardisation du format. Assure la conformité avec les normes internationales et les politiques de gouvernance d'entreprise [4, 7].

Applications pratiques:

- Série "InPlatforma". Intégration de matériaux scientifiques dans une plateforme multilingue ; les tableaux interactifs et les boutons de navigation améliorent l'accessibilité et la lisibilité pour les utilisateurs.
- Série "Lumière dans l'âme". Textes littéraires et artistiques adaptés à la lecture multilingue, incluant en-têtes, pieds de page et boutons de contenu interactif.
- Documents professionnels. Les versions anglaises standardisées servent de base pour les traductions; la navigation interactive facilite l'accès pour les utilisateurs internationaux.

Cette approche systématique garantit non seulement un haut niveau de précision sémantique et de cohérence stylistique, mais rend également les matériaux accessibles à un public mondial. Elle assure l'universalité, l'interactivité et la standardisation, renforçant ainsi l'efficacité, la convivialité et la portée des contenus multilingues dans les domaines scientifique, artistique et professionnel.

Avantages et caractère innovant de l'approche

La méthodologie interactive multilingue constitue un système alliant rigueur scientifique, adaptation culturelle et technologies numériques. Elle offre des avantages essentiels pour tous types de contenus — publications académiques,

articles scientifiques, œuvres littéraires ou documents professionnels — en améliorant qualité et accessibilité dans divers contextes linguistiques et culturels.

Cohérence du contenu et de la terminologie

- Langue de base comme norme centrale. L'utilisation d'une langue de référence unique, servant de standard pour toutes les traductions, empêche l'accumulation d'erreurs et l'« effet téléphone » fréquemment observé lors de traductions successives entre plusieurs langues.
- La traduction sémantique garantit la cohérence logique, la constance conceptuelle et le sens dans toutes les versions linguistiques, assurant que termes clés, concepts scientifiques et nuances culturelles restent intacts lors de l'adaptation des textes pour un public international.
- La méthodologie améliore significativement la précision et la fiabilité des textes académiques, professionnels et artistiques, un aspect essentiel pour les publications destinées aux bases de données scientométriques, aux revues internationales et aux collections littéraires [1, 2].
- Uniformité stylistique et structurelle. La cohérence du style, du format et des éléments structurels garantit une organisation professionnelle des matériaux, prêts à être utilisés tant dans des contextes internationaux que locaux.
- Réduction des risques d'interprétation erronée. En maintenant l'exactitude conceptuelle dans toutes les langues, la méthodologie minimise les risques de mauvaise interprétation — un facteur déterminant pour les communications juridiques, scientifiques et corporatives.

Navigation interactive

- L'intégration d'éléments interactifs, tels que des boutons, des symboles et des hyperliens, permet aux utilisateurs de passer aisément entre différentes versions linguistiques et sections structurelles du contenu.
- Cela améliore l'expérience utilisateur et l'accessibilité, permettant aux chercheurs, étudiants et professionnels de naviguer rapidement vers les sections souhaitées dans la langue de leur choix [3, 9].
- La navigation interactive soutient l'organisation logique du contenu, facilite l'apprentissage et la recherche, et favorise le développement de plateformes numériques intuitives pour la diffusion de contenus multilingues.

Visibilité et citation renforcées

- Grâce à sa structure multilingue, son formatage normalisé et le respect des protocoles internationaux de métadonnées, les matériaux peuvent être intégrés dans des bases de données internationales, telles que Scopus, Web of Science, ou des dépôts en libre accès comme DOAJ. Cette intégration assure une large visibilité auprès des publics académiques et professionnels, renforce le potentiel de citation et facilite la traçabilité des références. Elle soutient

également l'accessibilité et l'interopérabilité des contenus dans les réseaux de recherche mondiaux. En respectant les standards internationaux d'indexation, l'approche améliore la découvrabilité, la reconnaissance académique et l'impact des contenus à travers disciplines et communautés linguistiques.

- La méthodologie peut être aisément adaptée aux publications littéraires internationales, aux plateformes éducatives et aux systèmes d'entreprise, élargissant la portée du public et garantissant une diffusion efficace des contenus à l'échelle mondiale.
- En améliorant la traçabilité et l'interopérabilité des matériaux, l'approche favorise également la collaboration académique interculturelle et facilite l'inclusion dans les réseaux scientifiques globaux.

Universalité et applicabilité

La méthodologie proposée, très universelle, s'applique à un large éventail de matériaux — publications académiques et scientifiques, œuvres littéraires et artistiques, ainsi que documents professionnels et officiels. Elle est particulièrement efficace lorsque précision, structure logique et accessibilité multilingue sont cruciales pour maintenir l'intégrité et la crédibilité de l'information.

Cette approche établit un système unifié de gestion et de présentation des contenus textuels, garantissant standardisation des formats, cohérence stylistique, numérotation, tableaux, figures et diagrammes. Elle préserve l'identité culturelle, les nuances de genre et la profondeur sémantique de la source originale, évitant toute perte de sens ou de ton lors de traduction ou d'adaptation. Cet équilibre entre uniformisation structurelle et diversité culturelle permet de produire des contenus compréhensibles mondialement tout en restant authentiques dans leur contexte.

L'intégration du multilinguisme, de l'interactivité et de la standardisation crée un cadre efficace pour l'échange des connaissances. Les outils interactifs — glossaires dynamiques, renvois adaptatifs et éléments visuels — facilitent l'accès aux contenus multilingues sans compromettre précision ni lisibilité. Cette approche renforce l'efficacité de la recherche et de l'interprétation de l'information, tout en soutenant l'éducation internationale, la recherche interdisciplinaire et la collaboration créative au-delà des frontières linguistiques et culturelles.

De plus, l'universalité de la méthodologie permet d'intégrer des textes hétérogènes dans un écosystème numérique unique. Articles académiques, œuvres littéraires, rapports officiels et annotations multimédias coexistent sur une même plateforme interactive, reliés par métadonnées standardisées, index multilingue et navigation croisée. Cela offre aux utilisateurs une expérience cohérente, intuitive et inclusive, quel que soit leur contexte linguistique ou domaine professionnel.

En assurant la compatibilité avec les standards internationaux de publication et les protocoles de métadonnées (p. ex. DOI, ORCID, MARC, Dublin Core), la

méthodologie favorise l'interopérabilité avec les bases de données scientifiques, les dépôts institutionnels et les archives culturelles, renforçant ainsi la conservation et l'accessibilité à long terme des contenus.

Sur la base de ces principes, des diagrammes interactifs multilingues sont développés pour visualiser les interconnexions entre langues, disciplines et types de contenus. Ces diagrammes illustrent non seulement les relations structurelles, mais aussi les parallèles sémantiques et culturels au sein d'un cadre informationnel unifié, améliorant à la fois compréhension et engagement (Fig. 1).

L'option 1 est courte:

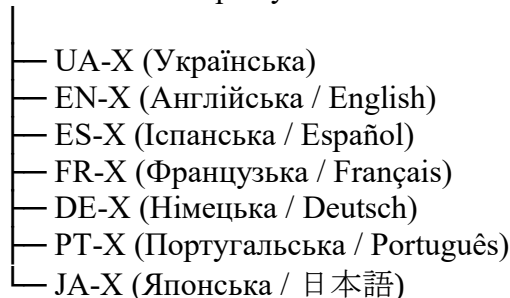
x – назва матеріалу / material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

Option 2 - avec le nom traduit séparément:

x – назва матеріалу
x – material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

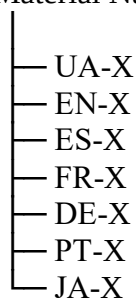
L'option 3 est un régime étendu avec des blocs:

Блок X – Назва матеріалу / Block X – Material Name



L'option 4 est un plan détaillé simplifié:

X – Назва матеріалу
X – Material Name



Explication:

- [UA-X], [EN-X] - des liens interactifs vers les versions linguistiques pertinentes.
- X — le numéro de l'article ou de la page ou son bloc ordinal dans l'article.
- Cette structure permet de présenter universellement tout type de contenu tout en maintenant cohérence et standardisation.
- Convient pour les articles scientifiques, les œuvres littéraires et artistiques, les documents commerciaux..

Fig. 1. Algorithme de structure matérielle universelle

Source: author's development.

L'objectif de cet article est de présenter une méthodologie universelle pour la présentation interactive et multilingue des matériaux textuels. Elle englobe les algorithmes de création d'une version de base d'un texte et sa traduction ultérieure

dans d'autres langues, en tenant compte de la précision sémantique et de la cohérence terminologique, ainsi que des mécanismes de navigation interactive entre versions linguistiques et blocs structurels. Le contrôle de qualité est assuré par la rétrotraduction, l'examen par des experts et la standardisation des formats.

Pour une évaluation systématique de l'efficacité des matériaux multilingues, des indicateurs quantitatifs sont proposés. La précision sémantique de la traduction (St) permet de prévenir l'accumulation d'erreurs de sens et d'évaluer la conformité de la terminologie et de la phraséologie aux normes établies. Parallèlement, l'interactivité des blocs de navigation (In) détermine la facilité de transition entre versions linguistiques et éléments structurels du texte, améliorant ainsi la valeur globale du matériau pour l'utilisateur.

L'approche proposée illustre l'application pratique de la méthodologie à divers types de publications : séries scientifiques (« InPlatform »), collections littéraires et artistiques (« Lumière dans l'âme ») et documents professionnels. Elle assure flexibilité, standardisation de la structure et du format, tout en préservant précision sémantique, authenticité culturelle et accessibilité des contenus pour toutes les catégories d'utilisateurs, y compris les personnes malvoyantes utilisant le braille ou des interfaces vocales.

La justification de la méthodologie repose sur une analyse détaillée des caractéristiques de navigation des textes scientifiques, professionnels et créatifs, permettant d'identifier les indicateurs clés de structure et d'accessibilité et de former une approche universelle pour évaluer l'interactivité et la qualité des traductions dans les publications multilingues (Tableau 1).

1. Navigation pour les documents scientifiques, commerciaux et créatifs

Назва / Named	UA	EN	FR	DE	ES	PT	JA
Розділ 1 / Material X	x	x	x	x	x	x	x
Розділ 2 / Material K	x	x	x	x	x	x	x
Розділ 3 / Material G	x	x	x	x	x	x	x
...	...	...	...	...	...	...	...

Explication:

- Chaque ligne correspond à une discipline distincte (scientifique, littéraire, artistique, commerciale).
- Les colonnes UA, EN, FR, DE, ES, PT, JA renvoient aux versions correspondantes dans chaque langue.
- Le tableau illustre la polyvalence et l'interactivité de la navigation pour tout type de matériel, qu'il s'agisse de séries de publications scientifiques interactives et multilingues, de travaux professionnels ou de collections et séries littéraires et artistiques [1, 4, 10].

Source : développement de l'auteur.

Dans les publications scientifiques, professionnelles et culturelles, il est essentiel de garantir la qualité des traductions et l'accessibilité des matériaux pour un large public. Cette exigence est cruciale pour les éditions multilingues, où précision du sens, cohérence terminologique et présentation structurée influent sur

la compréhension et l'efficacité de la communication. Pour y répondre, une méthodologie interactive multilingue a été développée, combinant évaluation systématique des traductions, analyse de l'interactivité et uniformité des références. Elle assure également l'inclusivité, notamment pour les personnes malvoyantes ou aveugles, grâce à l'adaptation aux technologies d'assistance telles que braille, lecteurs d'écran, interfaces vocales et dispositifs d'agrandissement. Cette approche améliore l'accès, la lisibilité, la fiabilité et la valeur pédagogique ou professionnelle des contenus, tout en favorisant la participation active des publics dans la diffusion de l'information.

La base de l'évaluation de la qualité des traductions dans les textes multilingues repose sur le calcul du coefficient moyen de précision sémantique, qui permet de prévenir l'accumulation d'erreurs sémantiques dans les publications multilingues (Formule 1):

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1)$$

Où:

St - coefficient moyen de précision sémantique;

Ci — score de précision de la traduction du i-ème terme ou groupe de mots (1 — totalement exact, 0 — sens perdu);

n — nombre de termes ou groupes de mots dans le texte.

Il est utilisé pour évaluer la qualité d'une traduction et prévenir l'accumulation d'erreurs sémantiques dans une publication multilingue.

Source : développement de l'auteur.

Le calcul de St permet d'évaluer systématiquement les traductions et de vérifier leur conformité terminologique et phraséologique aux normes. Il facilite la détection des erreurs et le développement de stratégies correctives pour améliorer la précision des versions ultérieures.

Parallèlement, l'évaluation de l'efficacité des blocs de navigation garantit l'interactivité et l'ergonomie du texte. À cet effet, le pourcentage d'interactivité du matériau est déterminé (Formule 2):

$$I_n = \frac{B_a}{B_t} \quad (2)$$

Où:

In - pourcentage d'interactivité (disponibilité de boutons ou symboles pour la navigation);

Ba — nombre de blocs de navigation actifs;

Bt — nombre total de blocs dans le matériau.

Cet indicateur est utilisé pour évaluer la facilité de navigation entre les versions linguistiques et les blocs constitutifs.

Source : développement de l'auteur.

Sur la base de cet indicateur, la commodité de navigation entre les versions linguistiques et les éléments structurels du texte est évaluée. Un niveau élevé

d'interactivité facilite l'orientation de l'utilisateur, simplifie l'accès à l'information et accroît la valeur globale du matériau pour l'utilisateur.

L'originalité de l'approche proposée réside dans le fait que le calcul de St et In peut également s'appliquer aux versions adaptées des matériaux destinées aux utilisateurs malvoyants. Par exemple, lors de l'intégration du braille, d'interfaces audio ou d'outils de navigation spécialisés, il devient possible d'évaluer:

- la précision sémantique du transfert d'information (St) dans les formats accessibles;
- l'efficacité de la navigation In à travers les blocs structurels et les versions linguistiques pour toutes les catégories d'utilisateurs.

Ainsi, la combinaison de la précision sémantique de la traduction, de l'interactivité des blocs de navigation et de l'accessibilité pour les utilisateurs malvoyants constitue une base pour développer des textes multilingues précis, structurés, conviviaux et inclusifs. Cette approche globale renforce la valeur scientifique, professionnelle et culturelle des publications en assurant interactivité, accessibilité et inclusivité.

De plus, la méthodologie permet l'adaptation des matériaux textuels à diverses plateformes et formats de publication, garantissant cohérence des traductions, interactivité et accessibilité dans un contexte multilingue. Cela fait de l'approche proposée un outil universel pour les contenus scientifiques, professionnels et culturels contemporains.

Discussion

Aujourd'hui, l'interactivité et le multilinguisme apparaissent non seulement comme des outils techniques de traduction, mais comme des principes conceptuels pour structurer le contenu des séries contemporaines. Celles-ci allient universalité et standardisation tout en tenant compte des exigences spécifiques de contextes variés, scientifiques, professionnels, administratifs et culturels-artistiques. Cette approche permet de créer des matériaux où chaque version linguistique n'est pas une copie isolée, mais un élément intégré d'un écosystème informationnel interactif, assurant cohérence logique, constance terminologique et précision sémantique.

Un aspect particulièrement important concerne l'accessibilité des matériaux pour les personnes malvoyantes, souvent absente des approches traditionnelles du contenu multilingue. La méthodologie interactive multilingue intègre des fonctions élémentaires mais cruciales : utilisation d'éléments de navigation, passage rapide entre versions linguistiques et modules thématiques, compatibilité avec les lecteurs d'écran, adaptation de la taille des polices, guidage vocal et logique structurée du contenu. Cette approche améliore non seulement l'accessibilité, mais établit également un nouveau niveau d'inclusivité dans les séries scientifiques, professionnelles et culturelles-artistiques.

Dans le domaine scientifique, l'interactivité et le multilinguisme contribuent à:

- garantir la précision et la constance terminologique, notamment dans la recherche interdisciplinaire;
- offrir l'accès aux matériaux à la communauté internationale dans plusieurs langues, sans perte de sens ni de structure logique;
- intégrer les contenus dans les bases de données scientométriques mondiales (Scopus, Web of Science, DOAJ), renforçant la visibilité des publications et favorisant le développement de réseaux scientifiques transnationaux.

Dans les secteurs professionnel et administratif, le multilinguisme interactif assure:

- la transparence des communications, la précision juridique et la neutralité stylistique des documents;
- la réduction des malentendus dans les entreprises multinationales et les organisations internationales;
- les conditions de partenariats internationaux efficaces, où chaque version linguistique possède une validité informationnelle et juridique équivalente.

Dans la sphère culturelle et artistique, le multilinguisme interactif constitue un mécanisme central de dialogue interculturel, c'est-à-dire la communication structurée entre différentes communautés linguistiques et culturelles. Cette méthodologie permet aux textes artistiques, collections littéraires et projets créatifs de dépasser les barrières linguistiques tout en préservant l'intégrité stylistique de l'auteur et la cohésion esthétique de l'œuvre, conservant l'effet artistique et la structure narrative à travers les langues. Elle crée ainsi de nouveaux espaces culturels où les œuvres acquièrent reconnaissance internationale, favorisant un public mondial et le dialogue interculturel. Dans ce contexte, le multilinguisme interactif ne se limite pas à un outil de traduction, mais constitue un cadre dynamique d'échange culturel.

L'interactivité dans les environnements numériques s'implémente via plusieurs mécanismes qui améliorent l'ergonomie, la compréhension et l'accessibilité:

- Blocs thématiques structurés et organisation hiérarchique du contenu (disposition systématique des matériaux en unités logiquement séquencées), guidant les utilisateurs à travers le contenu et facilitant la recherche et l'apprentissage;
- Changement rapide de langue (possibilité de passer aisément entre plusieurs versions linguistiques d'un même contenu), préservant la fidélité sémantique tout en offrant l'accès à la langue préférée de l'utilisateur;
- Éléments de navigation intégrés (boutons interactifs, symboles et hyperliens), permettant une exploration efficace du contenu et le maintien du contexte lors du passage entre sections;

- Compatibilité avec les logiciels d'accessibilité (lecteurs d'écran, afficheurs braille, outils de grossissement), garantissant l'inclusivité pour les utilisateurs malvoyants ou ayant d'autres besoins d'accessibilité.

La langue principale de la plateforme (le plus souvent l'anglais) sert de référence pour toutes les traductions, remplissant trois fonctions essentielles:

- Garantir le contrôle de qualité des versions multilingues;
- Prévenir l'accumulation d'erreurs de traduction;
- Maintenir la cohérence sémantique (préserver le sens du contenu à travers les langues).

Cette approche permet de développer des bases de données multilingues, des plateformes éducatives et des ressources de communication répondant aux besoins variés d'un large éventail d'utilisateurs — étudiants, chercheurs, administrateurs publics, managers, professionnels de la culture et personnes en situation de handicap. L'intégration d'éléments interactifs facilite la combinaison fluide de contenus textuels, audiovisuels et multimédias, favorisant un apprentissage approfondi, renforçant la communication interculturelle et soutenant le dialogue interdisciplinaire dans différents domaines d'étude et de pratique professionnelle.

La combinaison de l'interactivité et du multilinguisme renforce la flexibilité, l'adaptabilité et la résilience des plateformes numériques, permettant aux utilisateurs de naviguer aisément entre langues, sections thématiques et modules d'apprentissage sans compromettre la structure logique ni l'intégrité conceptuelle du contenu original. Elle garantit que l'information reste précise, accessible et culturellement pertinente dans un environnement éducatif et scientifique mondialisé, où les connaissances doivent être efficacement communiquées à travers divers contextes et publics.

De plus, les plateformes multilingues et interactives offrent un apprentissage adaptatif, personnalisant les contenus selon les connaissances de l'utilisateur, son rythme et ses besoins professionnels ou académiques. Cette personnalisation améliore les résultats et l'engagement, tout en favorisant le développement de la pensée critique et des compétences analytiques, les utilisateurs interagissant activement avec le contenu plutôt que de le consommer passivement.

L'approche multilingue favorise l'inclusion dans l'environnement numérique, garantissant un accès équitable aux ressources pour des utilisateurs aux compétences linguistiques, cognitives et numériques variées. Elle soutient le développement de la littératie numérique, l'adaptation sociale et l'intégration professionnelle des personnes en situation de handicap, tout en ouvrant de nouvelles opportunités pour l'apprentissage à distance, la collaboration internationale et l'échange interculturel.

De plus, les méthodologies interactives et multilingues facilitent la création de communautés de pratique, permettant le partage de résultats de recherche, de

supports pédagogiques et de bonnes pratiques. Ces environnements collaboratifs stimulent la coopération interdisciplinaire, accélèrent la diffusion mondiale des connaissances et renforcent l'innovation ainsi que les initiatives de développement durable dans les domaines scientifique, éducatif et professionnel.

Ainsi, la méthodologie interactive et multilingue constitue un outil universel et robuste pour développer des contenus scientifiques, éducatifs, professionnels et culturels. Elle combine cohérence structurelle, précision terminologique et adaptabilité technologique avec les principes d'ouverture, d'accessibilité et d'inclusion centrée sur l'humain, établissant un nouveau paradigme pour la production de connaissances, l'apprentissage et la communication dans l'écosystème numérique mondial.

La pertinence pratique de la mise en œuvre de méthodologies multilingues interactives se manifeste par leur large application dans divers domaines, garantissant l'atteinte de bénéfices clés et de résultats concrets conformes aux critères d'efficacité établis (Tableau 2).

2. Application comparative de la méthodologie multilingue interactive dans différents domaines

Domaine	Principaux avantages	Problèmes à résoudre
Académique (Scopus, WoS)	Accroît la visibilité et les citations, assure la précision terminologique	Prévenir les glissements sémantiques ; standardiser les systèmes de références
Littéraire et culturel	Favorise le dialogue interculturel ; élargit le public ; préserve les caractéristiques stylistiques	Éviter la perte de contexte culturel dans la traduction
Professionnel (affaires)	Assure la clarté dans les contrats, rapports et communications d'entreprise ; conformité aux normes	Éliminer les incohérences terminologiques entre juridictions
Officiel et juridique	Garantit l'exactitude juridique, la cohérence administrative et la compatibilité avec les cadres internationaux	Minimiser le risque de mauvaise interprétation dans les documents critiques

Sources : élaboration propre basée sur [1-6, 9].

Ce cadre souligne que l'interactivité n'est pas seulement une fonctionnalité technique, mais un outil pédagogique et culturel favorisant engagement, compréhension et rétention des connaissances. Le soutien multilingue dépasse la traduction littérale pour servir de pont entre publics, perspectives et cadres interprétatifs. Cette méthodologie garantit que la connaissance et l'expression créative restent accessibles, inclusives et impactantes au-delà des frontières linguistiques et culturelles.

Après analyse de la mise en œuvre de la méthodologie interactive multilingue dans divers domaines, il est essentiel d'examiner plus en détail les mécanismes d'interactivité et d'adaptabilité conçus pour les personnes malvoyantes. Ces

mécanismes apportent non seulement une valeur fonctionnelle supplémentaire, mais soulignent aussi le caractère innovant et transformateur de l'approche proposée.

Dans les plateformes numériques, l'interactivité s'opérationnalise par une combinaison synergique de blocs de contenu structurés, de composants de navigation et d'interfaces de gestion. Cette intégration facilite l'orientation efficace au sein de volumes étendus de matériel. Pour les personnes malvoyantes, ces éléments interactifs sont particulièrement importants, car ils ouvrent l'accès à une information auparavant partiellement ou totalement inaccessible.

Composants fondamentaux de l'interactivité avec intégration de l'accessibilité
Blocs thématiques structurés:

- Le contenu est organisé en sections cohérentes avec des titres explicites, permettant aux utilisateurs de s'orienter rapidement dans le texte.
- Chaque section comprend métadonnées et étiquettes sémantiques, assurant la compatibilité avec les technologies de lecture d'écran et permettant aux personnes malvoyantes de naviguer efficacement entre les segments.

Éléments de navigation:

- Hyperliens et boutons interactifs facilitent les transitions directes entre versions linguistiques ou modules thématiques, évitant de longs défilements.
- Des symboles et indicateurs pictographiques facilitent l'identification rapide des types de contenu (texte académique, données tabulaires, graphiques ou ressources complémentaires), tous accompagnés d'alternatives textuelles pour les technologies d'assistance.

Adaptation aux technologies assistives et compensatoires:

- Les plateformes sont conçues pour une pleine interopérabilité avec lecteurs d'écran, logiciels de grossissement et autres solutions d'assistance.
- Le design inclut des schémas de couleurs à fort contraste et une typographie dynamique, assurant un confort perceptuel aux utilisateurs à vision partielle.
- Les représentations tabulaires et graphiques sont systématiquement accompagnées d'annotations textuelles et de couches descriptives, transmettant le contenu sémantique des données visuelles.

Guidage vocal et signaux sonores:

- Les contenus principaux peuvent être complétés par une narration audio des sections clés, ainsi que par des indications de navigation guidant les utilisateurs dans l'environnement numérique.
- Les mécanismes d'interaction vocale offrent un accès alternatif, permettant de s'orienter dans les séquences sans recourir à la perception visuelle, élargissant ainsi l'inclusion des utilisateurs.

Langue de référence et assurance qualité des traductions:

- L'utilisation cohérente d'une langue de référence désignée (le plus souvent l'anglais) garantit la cohérence logique, la précision terminologique et l'intégrité sémantique des adaptations multilingues. Ceci est particulièrement important pour les personnes malvoyantes, qui dépendent de la stabilité des cadres de navigation et de l'exactitude linguistique pour accéder et traiter l'information efficacement.

Avantages pratiques de l'approche:

- Inclusion : Cette approche garantit un accès équitable aux ressources scientifiques, professionnelles, commerciales et artistiques pour les personnes malvoyantes. En intégrant directement des mécanismes d'accessibilité dans la conception, ceux qui rencontrent traditionnellement des obstacles à l'accès aux contenus textuels, tabulaires ou multimédias peuvent participer pleinement aux domaines académiques, professionnels, commerciaux et artistiques. La méthodologie favorise l'inclusion sociale en créant une plateforme où tous les utilisateurs, indépendamment de leurs limitations sensorielles, disposent des mêmes opportunités d'engagement.
- Efficacité : Un contenu structuré en blocs thématiques clairs, combiné à des éléments de navigation interactive, permet de parcourir efficacement de vastes volumes d'information. Cela réduit la charge cognitive et le temps de recherche, permettant aux chercheurs, professionnels et praticiens culturels de localiser, analyser et synthétiser rapidement et précisément l'information pertinente. Pour les personnes malvoyantes, les repères interactifs et les éléments compatibles avec les lecteurs d'écran renforcent encore l'efficacité opérationnelle sur tous les types de contenu.
- Universalité : Les principes du multilinguisme interactif s'appliquent aux séries scientifiques, documents professionnels, supports commerciaux et projets artistiques et culturels. Cette universalité assure à la fois accessibilité, précision terminologique et cohérence logique. Qu'il s'agisse de recherches académiques, de rapports professionnels, de documents commerciaux, de collections littéraires ou d'expositions multimédias, la méthodologie garantit une cohérence dans la diffusion des contenus tout en tenant compte de la diversité linguistique et sensorielle.
- Innovation sociale : Les approches traditionnelles des plateformes multilingues intègrent rarement l'inclusion complète comme élément central. Le multilinguisme interactif représente un exemple novateur de méthodologie inclusive pleinement intégrée, comblant les lacunes des systèmes existants et établissant un standard pour un design numérique socialement responsable dans les contextes académiques, professionnels, commerciaux et culturels.

Interactivité à travers différents types de contenus:

Dans les projets regroupant des matériaux scientifiques, professionnels, commerciaux et artistiques, les éléments interactifs remplissent diverses fonctions pratiques visant à améliorer l'ergonomie et l'accessibilité:

- ***Changement de langue fluide***: Les utilisateurs peuvent passer d'une version linguistique à une autre sans perte de style, de précision ou de nuances sémantiques. Cela préserve la voix de l'auteur dans les œuvres littéraires tout en maintenant la précision terminologique dans les textes scientifiques, professionnels et commerciaux.
- ***Accès aux ressources complémentaires***: Des liens interactifs fournissent des explications de termes, glossaires de concepts spécialisés ou informations contextuelles, améliorant compréhension et engagement, notamment pour les non-natifs, les personnes malvoyantes et ceux ayant un accès limité aux ressources traditionnelles.
- ***Guidage audio et textuel***: La narration et les repères textuels permettent aux personnes malvoyantes d'interagir efficacement avec tous types de contenus — scientifiques, professionnels, commerciaux ou artistiques. Les systèmes multimodaux garantissent un accès équitable à l'information pour tous, favorisant une participation inclusive et une compréhension complète.
- ***Intégration du dialogue interculturel et interdisciplinaire***: Les éléments interactifs encouragent l'interaction interculturelle et interdisciplinaire en reliant contenus, annotations et ressources explicatives, tout en restant accessibles à un large public international. Cette approche favorise la compréhension interculturelle, la collaboration scientifique et la communication professionnelle, garantissant cohérence logique, inclusion et facilité de navigation à travers différents types de contenus.

Conclusions

Ainsi, le multilinguisme interactif, associé à des éléments d'accessibilité, établit un nouveau paradigme de communication universelle. Il offre cohérence structurelle, précision terminologique, inclusion et ergonomie pour divers utilisateurs, y compris les personnes malvoyantes. Cette approche favorise le développement durable des séries scientifiques, professionnelles et artistiques dans l'environnement numérique mondial, illustrant à la fois la nouveauté pratique et la portée sociale de la méthodologie interactive multilingue.

La méthodologie interactive multilingue garantit la cohérence terminologique, sémantique et structurelle dans toutes les versions d'un texte [1, 2]. La traduction sémantique, associée à des procédures rigoureuses de contrôle qualité telles que la rétrotraduction, assure précision, fiabilité et crédibilité académique [5, 8]. Ces mécanismes sont essentiels pour prévenir toute dérive sémantique entre les langues, notamment lorsque la précision technique et l'intégrité conceptuelle sont cruciales.

En pratique, la méthodologie montre une grande efficacité dans plusieurs domaines:

- Publication scientifique : accroître la visibilité des résultats de recherche, assurer la conformité aux systèmes internationaux d'indexation (Scopus, Web of Science, DOAJ) et faciliter la participation aux débats académiques mondiaux.
- Projets littéraires et artistiques : préserver l'intégrité stylistique tout en ouvrant l'accès à un lectorat international élargi, soutenant ainsi le dialogue interculturel et la reconnaissance des œuvres créatives au-delà des frontières linguistiques.
- Documentation administrative et commerciale : assurer précision juridique, standardisation terminologique et transparence des décisions dans les organisations multilingues et multinationales [4, 7].

Un élément tout aussi important de cette méthodologie réside dans sa dimension interactive. L'intégration de symboles interactifs, boutons de navigation, hyperliens et balises sémantiques permet aux utilisateurs de passer facilement d'une langue à l'autre et entre les sections structurées. Cela augmente considérablement l'accessibilité et l'ergonomie, notamment dans les environnements numériques contenant de grands volumes de contenus académiques, professionnels ou créatifs [3, 9]. Du point de vue du design inclusif, la combinaison du multilinguisme et de la navigation interactive améliore également l'accès pour les personnes malvoyantes, en facilitant la compatibilité avec les lecteurs d'écran, logiciels de synthèse vocale et outils d'affichage adaptatifs.

Au-delà de ses applications actuelles, la méthodologie présente un potentiel significatif pour l'adaptation à d'autres séries et plateformes internationales. Son intégration aux infrastructures de recherche mondiales — ORCID, Crossref, dépôts institutionnels et systèmes de publication en libre accès — pourrait garantir non seulement une meilleure visibilité, mais aussi une citabilité soutenue des publications à l'échelle mondiale.

Par ailleurs, son alignement avec les normes internationales d'accessibilité telles que WCAG 2.1 [11] et ISO 9241-171 [12] assure que les contenus produits ou partagés respectent les principes reconnus de design inclusif. WCAG 2.1 fournit des directives détaillées pour rendre les contenus web accessibles aux personnes ayant des déficiences visuelles, auditives, cognitives ou motrices, tandis que l'ISO 9241-171 se concentre sur l'ergonomie logicielle pour améliorer l'utilisabilité d'un public large. L'intégration de ces standards favorise non seulement la conformité mais aussi la création de contenus équitables, inclusifs et universellement utilisables.

À l'avenir, le multilinguisme interactif pourrait évoluer grâce à l'incorporation de la traduction assistée par intelligence artificielle, de bases de données multilingues adaptatives et d'outils automatisés de vérification sémantique. Ces

innovations accéléreront la traduction et la diffusion des contenus tout en préservant la précision sémantique et la sensibilité culturelle nécessaires dans la communication académique, juridique et artistique.

En conclusion, le multilinguisme interactif avec fonctionnalités d'accessibilité dépasse le simple cadre technique. Il constitue un dispositif conceptuel et méthodologique redéfinissant l'interaction entre connaissance, culture et gouvernance. En combinant précision et inclusion, spécificité locale et connectivité globale, la méthodologie offre une base pour créer des systèmes de communication durables et universellement accessibles. Son potentiel transformateur englobe science, affaires et culture, en faisant une pierre angulaire des pratiques numériques contemporaines.

Références

1. Hnatiuk, I. (2017). Multilingual scientific communication: theory and practice. Kyiv: Kyiv University Press.
2. Smith, J., & Johnson, R. (2021). Semantic translation in scientific publishing. *International Journal of Translation Studies*, 14(2), 101–119.
3. Garcia, I., Pérez, L., & Torres, M. (2020). Multilingual digital platforms: Interactive navigation and user experience. *Journal of Multilingual Communication*, 12(3), 45–62.
4. Melnyk, O. (2021). Terminological standardisation in multilingual documents. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv.
5. Baker, M. (2018). *In other words: A coursebook on translation* (3rd ed.). Routledge.
6. Cronin, M. (2017). *Translation and globalization*. Routledge.
7. StateGeoCadastre (2018). *Standards of office work and multilingual documents*. Kyiv: State Land Cadastre.
8. Gile, D. (2009). *Basic concepts and models for interpreter and translator training*. John Benjamins Publishing.
9. Shevchenko, T. (2019). *Interactive platforms and user experience*. Kharkiv: KHNU.
10. Kovalenko, L. (2020). *Literary and artistic translations: methodology and practice*. Kyiv: Naukova Dumka.
11. W3C. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
12. ISO 9241-171:2008. *Ergonomics of human-system interaction — Part 171: Guidance on software accessibility*.

[DE_1]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Methodik und Mehrsprachigkeit interaktiver Texte

Zusammenfassung

Die Methodik der interaktiven mehrsprachigen Präsentation von Texten wird als universelles Instrument verstanden, das Erstellung, Harmonisierung und Verbreitung vielfältiger Inhalte ermöglicht — von wissenschaftlichen Artikeln und Monographien bis zu literarisch-künstlerischen Sammlungen sowie geschäftlichen und amtlichen Dokumenten. Ihre Besonderheit liegt in der Verbindung sprachlicher Universalität und interaktiver Navigation. So überwindet der Ansatz Barrieren zwischen wissenschaftlichen Schulen, kulturellen Traditionen und administrativen Umfeldern und schafft eine einheitliche, strukturierte Plattform zur Informationsdarstellung.

Das Grundprinzip ist die Nutzung einer Basissprache als zentrales Referenzsystem für alle Übersetzungen. Meistens wird Englisch als Lingua franca der internationalen Wissenschaft, Bildung und Wirtschaft gewählt. Die Methodik ist jedoch nicht auf Englisch beschränkt: Texte können auch in Ukrainisch, Französisch, Deutsch, Japanisch oder anderen Sprachen erstellt werden. Liegt der Originaltext nicht in Englisch vor, wird er übersetzt, ergänzt und verfeinert, um eine umfassende Basisversion zu bilden, die als einzige Quelle für alle weiteren Übersetzungen semantische Genauigkeit, terminologische Konsistenz und logische Kohärenz gewährleistet.

Die Methodik integriert ein mehrstufiges Qualitätssicherungssystem: Erstens werden Rückübersetzungen genutzt, um semantische Abweichungen zu erkennen. Zweitens erfolgen stilistische und kulturelle Anpassungen durch professionelle Philologen und Muttersprachler. Drittens wird die Formatstandardisierung angewendet: Titel, Nummerierungen, Notationen, Struktur von Referenzen und Bibliografien werden vereinheitlicht. Dank dieser Mechanismen können integrierte Materialien problemlos in internationale scientometrische Datenbanken — Scopus,

Web of Science, DOAJ — sowie in offizielle mehrsprachige Geschäfts-, Rechts- und Kulturplattformen eingebunden werden.

Die Arbeit erläutert die Konstruktion der Basissprache, Übersetzungs- und Harmonisierungsmethoden für mehrsprachige Versionen sowie interaktive Blockdiagramme und Navigationstabellen. Als Fallbeispiele werden wissenschaftliche Reihen („InPlatforma“) und literarisch-künstlerische Sammlungen („Licht in der Seele“) betrachtet. Die Universalität des Ansatzes erlaubt jedoch auch die Anwendung in geschäftlichen und amtlichen Kontexten. Ein besonderer Fokus liegt auf den Perspektiven, diese Methodik universell für beliebige Dokumenttypen zu nutzen, wobei die Kombination aus Mehrsprachigkeit, Interaktivität und Standardisierung neue Möglichkeiten für den effektiven Informationsgebrauch eröffnet.

Die Methodik der interaktiven mehrsprachigen Präsentation von Textmaterialien besitzt somit strategische Bedeutung: Sie verbindet Standardisierung und Flexibilität, wissenschaftliche Präzision und kulturelle Vielfalt sowie lokale Besonderheiten mit internationalen Standards. Ihre Umsetzung fördert sowohl die wissenschaftliche Forschung als auch die Verbreitung künstlerischer und geschäftlicher Inhalte im globalen Informationsraum.

Schlüsselwörter: Mehrsprachige Publikation, interaktive Navigation, Basissprache, semantische Übersetzung, wissenschaftliche und künstlerische Reihen, Geschäftsdokumente, Versionsharmonisierung, internationale Standards, Scopus, Web of Science, DOAJ, kulturelle Anpassung, Rückübersetzung

Einführung

In zeitgenössischen wissenschaftlichen, fachlichen und kulturellen Publikationen ist die Gewährleistung von qualitativ hochwertigen Übersetzungen, benutzerfreundlicher Navigation und universellem Zugang zu Materialien ein zentraler Aspekt. Dies ist besonders in mehrsprachigen Ausgaben relevant, in denen semantische Genauigkeit, strukturierte Darstellung und Inklusivität für alle Nutzergruppen direkt die Effektivität der Kommunikation und die internationale Sichtbarkeit von Forschungsergebnissen bestimmen.

Die vorgeschlagene interaktive mehrsprachige Methodik bietet Zugänglichkeit nicht nur für Nutzer mit normalem Sehvermögen, sondern auch für sehbehinderte und blinde Personen, indem Hilfstechnologien wie Braille und Sprachschnittstellen integriert werden. Dieser Ansatz verbindet die Prinzipien des universellen Designs mit den Anforderungen akademischer und professioneller Kommunikation und gewährleistet ein hohes Maß an Inklusivität.

Die wissenschaftliche Neuheit liegt in der Integration dreier miteinander verbundener Komponenten:

- Bewertung der semantischen Genauigkeit in Übersetzungen zur Vermeidung von Bedeutungsverzerrungen;
- Interaktivität der Navigationsblöcke zur Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit und Anpassungsfähigkeit der Materialien;
- Barrierefreiheit für sehbehinderte Nutzer durch spezialisierte Formate und Hilfstechnologien.

Moderne akademische, kulturelle und geschäftliche Kommunikation ist ohne mehrsprachige Ressourcen nicht denkbar, da globaler Informationsaustausch die Interaktion zwischen Vertretern verschiedener Länder, Forschungsschulen, kultureller Traditionen und Verwaltungssysteme voraussetzt. In der akademischen Publikation trägt Mehrsprachigkeit zur internationalen Sichtbarkeit in Indexierungsdatenbanken wie Scopus, Web of Science und DOAJ bei und ermöglicht breiteren Zugang zu relevanten Ergebnissen und Methoden [1, 2]. In literarischen und künstlerischen Sammlungen fördert sie interkulturellen Dialog und die Verbreitung der Werke von Autor:innen [3, 4]. Im geschäftlichen und administrativen Bereich sichert sie rechtliche Genauigkeit, Standardkonformität und erleichtert internationale Kooperation.

Ziel dieses Artikels ist die Darstellung einer umfassenden Methodik für die interaktive mehrsprachige Präsentation von Textmaterialien, einschließlich:

- Algorithmen zur Erstellung einer Basisversion des Textes mit anschließender Übersetzung unter Wahrung der semantischen Genauigkeit und terminologischen Konsistenz;
- Mechanismen der interaktiven Navigation zwischen Sprachversionen und strukturellen Blöcken;
- Prinzipien der Qualitätskontrolle durch Rückübersetzung, Expert:innenprüfung und Standardisierung der Formate;
- Anpassung für sehbehinderte Nutzer:innen durch Integration von Braille, Sprachschnittstellen und weiteren Hilfsmitteln.

Die interaktive mehrsprachige Methodik erweist sich somit als universelles Instrument für akademische, kulturelle und fachliche Publikationen, das semantische Präzision, strukturelle Klarheit, Barrierefreiheit und Inklusivität in der globalen Informationslandschaft verbindet.

Theoretische Grundlagen des interaktiven Mehrsprachigkeit

Problemstellung

Die moderne globale Kommunikation sowie die Internationalisierung von Wissenschaft, Kultur und Wirtschaft erfordern Materialien, die für Sprecher:innen verschiedener Sprachen und Vertreter:innen diverser Kulturgemeinschaften verständlich und zugänglich sind. Mehrsprachige Materialien stehen dabei vor

zentralen Herausforderungen, die ihre Qualität und Wirksamkeit beeinträchtigen können:

- Anhäufung von Ungenauigkeiten bei sequentiellen Übersetzungen: Werden Materialien schrittweise aus der Ausgangssprache in weitere Sprachen übersetzt, können sich Fehler kumulieren und die intendierte Bedeutung verändern, insbesondere in wissenschaftlichen oder technischen Texten [5].
- Verlust von Semantik und logischer Kohärenz: Jeder Übersetzungsschritt kann Satzstrukturen verändern und semantische Schwerpunkte verschieben, was zu Fragmentierung des Textes und Verzerrung zentraler Ideen führen kann [6].
- Inkonsistenzen in Stil, Format und Terminologie: Verschiedene Textarten—wissenschaftliche, rechtliche oder literarische—erfordern die Einhaltung spezifischer Formatierungsnormen, stilistischer Konventionen und präziser Terminologie. Abweichungen von diesen Standards beeinträchtigen Klarheit, Glaubwürdigkeit sowie den akademischen oder professionellen Wert der Materialien [4, 7].

Ansätze zur Lösung

Zur Bewältigung dieser Herausforderungen wird eine integrative Methodik vorgeschlagen, die sprachliche Universalität, semantische Präzision und den Einsatz interaktiver Technologien miteinander vereint.

- Basissprache: Eine einzige Sprachversion – typischerweise Englisch – dient als zentrales Referenzdokument für alle weiteren Übersetzungen. Dies gewährleistet terminologische Konsistenz und minimiert Bedeutungsverzerrungen bei der Übertragung in andere Sprachen.
- Semantische Übersetzung: Dieser Ansatz bewahrt die Bedeutung nicht nur auf lexikalischer Ebene, sondern auch hinsichtlich der logischen Struktur und konzeptuellen Zusammenhänge des Originaltexts [2].
- Qualitätskontrolle: Verfahren umfassen Rückübersetzung, fachliche Begutachtung durch Linguist:innen und Muttersprachler:innen sowie Überprüfung von Formatierung und struktureller Konsistenz, um stilistische und kulturelle Anpassung sicherzustellen [1, 8].
- Interaktive Navigation: Durch die Verwendung von Schaltflächen, Symbolen oder Hyperlinks können Nutzer:innen mühelos zwischen verschiedenen Sprachversionen und strukturellen Abschnitten des Materials wechseln, was die Barrierefreiheit erhöht und die Benutzererfahrung deutlich verbessert [3, 9].

Algorithmus zur Erstellung interaktiver mehrsprachiger Materialien

Wissenschaftliche Texte:

- Erstellung der Basisversion: Das Ausgangsmaterial wird ins Englische übertragen und dabei terminologisch präzisiert, durch erläuternde Inhalte ergänzt und strukturell optimiert.

- Übersetzungen in andere Sprachen: Die weiteren Sprachversionen entstehen direkt aus der englischen Basisfassung, um hohe semantische Genauigkeit sicherzustellen.
- Interaktive Navigation: Symbole oder Schaltflächen kennzeichnen die verfügbaren Sprachversionen und ermöglichen ein intuitives Umschalten.
- Qualitätskontrolle: Rückübersetzungen sowie die fachliche Begutachtung durch Expert:innen und Muttersprachler:innen dienen der Minimierung von Übersetzungsfehlern und semantischen Verzerrungen [8].

Literarische und künstlerische Texte:

- Originaltext: Wird in ukrainischer oder einer anderen nationalen Sprache verfasst.
- Übersetzungen: Erfolgen ins Englische, Französische, Deutsche, Italienische, Spanische und in weitere Zielsprachen, unter Berücksichtigung stilistischer und kultureller Besonderheiten.
- Interaktive Navigation: Schaltflächen ermöglichen den Leser:innen einen schnellen Wechsel zwischen Sprachversionen und Textabschnitten.
- Formatierung: Der Text kann ein- oder zweispaltig dargestellt werden, angepasst an verschiedene Plattformen und Lesegeräte [10].

Geschäftliche und amtliche Dokumente:

- Erstellung der Basisversion: Originaldokumente werden ins Englische übersetzt unter Beachtung internationaler Standards für Format, Gliederung und Zitation.
- Übersetzungen in andere Sprachen: Erfolgen direkt aus der englischen Fassung unter Berücksichtigung rechtlicher, administrativer und fachlicher Anforderungen der Zielgruppen.
- Interaktive Navigation: Schaltflächen oder Symbole ermöglichen ein effizientes Umschalten zwischen Sprachversionen.
- Formatstandardisierung: Gewährleistet die Einhaltung internationaler Normen und unternehmensinterner Richtlinien [4, 7].

Praktische Anwendungen:

- Serie „InPlattform“: Integration wissenschaftlicher Materialien in eine mehrsprachige Plattform; interaktive Tabellen und Navigationsschaltflächen verbessern die Zugänglichkeit für Nutzer:innen.
- Serie „Licht in der Seele“: Literarische und künstlerische Texte für mehrsprachiges Lesen adaptiert, einschließlich Überschriften, Fußnoten und interaktiver Inhaltsbuttons.
- Geschäftsdokumente: Standardisierte englische Versionen bilden die Basis für Übersetzungen; interaktive Navigation erleichtert den internationalen Zugriff. Dieser Ansatz gewährleistet semantische Genauigkeit und stilistische Konsistenz und macht die Materialien international zugänglich. Durch Universalität,

Interaktivität und Standardisierung steigert er Effizienz, Benutzerfreundlichkeit und Reichweite mehrsprachiger Inhalte in Wissenschaft, Kunst und Beruf.

Vorteile und Innovationscharakter des Ansatzes

Die interaktive mehrsprachige Methodik stellt ein umfassendes System dar, das wissenschaftliche Genauigkeit, kulturelle Anpassung und technologische Integration vereint. Dieser Ansatz bietet zentrale Vorteile für alle Textarten – von akademischen Publikationen und Fachartikeln bis hin zu literarischen Werken und beruflichen Dokumenten – und verbessert sowohl Qualität als auch Zugänglichkeit von Inhalten über verschiedene sprachliche und kulturelle Kontexte hinweg.

Konsistenz von Inhalt und Terminologie

- Die Verwendung einer Ausgangssprache als zentraler Standard für alle Übersetzungen verhindert Fehlerakkumulation und den „Stille-Post-Effekt“, der bei sequentiellen Übersetzungen häufig auftritt.
- Semantische Übersetzung gewährleistet die Wahrung logischer Kohärenz, konzeptueller Konsistenz und Bedeutung in allen Sprachversionen, sodass Schlüsselbegriffe, wissenschaftliche Konzepte und kulturelle Nuancen bei der internationalen Adaption erhalten bleiben.
- Die Methodik erhöht die Genauigkeit und Zuverlässigkeit akademischer, beruflicher und künstlerischer Materialien erheblich, was besonders für Publikationen in scientometrischen Datenbanken, internationalen Fachzeitschriften und literarischen Reihen relevant ist [1, 2].
- Konsistenz in Stil, Format und Struktur sorgt dafür, dass Materialien professionell organisiert und international wie lokal nutzbar sind.
- Durch die Wahrung konzeptueller Genauigkeit über alle Sprachen hinweg wird das Risiko von Fehlinterpretationen minimiert, was für rechtliche, wissenschaftliche und unternehmerische Kommunikation entscheidend ist.

Interaktive Navigation

- Die Integration interaktiver Elemente wie Schaltflächen, Symbole und Hyperlinks ermöglicht den nahtlosen Wechsel zwischen verschiedenen Sprachversionen und strukturellen Blöcken des Materials.
- Dies verbessert Benutzerfreundlichkeit und Zugänglichkeit, sodass Forschende, Studierende und Fachleute schnell zu den gewünschten Abschnitten in ihrer bevorzugten Sprache navigieren können [3, 9].
- Interaktive Navigation unterstützt die logische Organisation von Inhalten, erleichtert Lernen, Forschung und berufliche Nutzung und bildet die Grundlage für intuitive digitale Plattformen zur Verbreitung mehrsprachiger Inhalte.

Erhöhte Sichtbarkeit und Zitierfähigkeit

- Dank der mehrsprachigen Struktur, standardisierter Formatierung und Einhaltung internationaler Metadatenprotokolle können die Materialien

problemlos in internationale scientometrische Datenbanken wie Scopus, Web of Science sowie in Open-Access-Repositorien wie DOAJ integriert werden. Dies gewährleistet breite Sichtbarkeit, erhöht das Zitationspotenzial, erleichtert die Nachverfolgbarkeit von Referenzen und unterstützt langfristige Zugänglichkeit und Interoperabilität in globalen Forschungsnetzwerken. Durch die Erfüllung internationaler Indexierungsstandards wird die Auffindbarkeit, wissenschaftliche Anerkennung und Wirkung der Inhalte über Disziplinen und Sprachgemeinschaften hinweg deutlich gestärkt.

- Die Methodik lässt sich leicht auf internationale literarische Publikationen, Bildungsplattformen und Unternehmenssysteme übertragen, erweitert die Reichweite und gewährleistet effiziente globale Inhaltsverbreitung.
- Durch verbesserte Nachverfolgbarkeit und Interoperabilität fördert der Ansatz zudem interkulturelle akademische Zusammenarbeit und erleichtert die Einbindung in globale wissenschaftliche Netzwerke.

Universalität und Anwendbarkeit

Die Methodik ist universell und auf ein breites Spektrum von Materialien anwendbar – von akademischen Publikationen bis zu literarischen, künstlerischen, beruflichen und offiziellen Dokumenten. Sie eignet sich besonders dort, wo Präzision, logische Struktur und mehrsprachige Zugänglichkeit für Integrität und Glaubwürdigkeit von Informationen entscheidend sind.

Der Ansatz schafft ein einheitliches System für Verwaltung und Präsentation von Texten, standardisiert Formate, Stil, Nummerierung, Tabellen und Abbildungen und bewahrt zugleich kulturelle Identität, Genrespezifika und semantische Tiefe, sodass Bedeutungsverlust bei Übersetzung oder Adaption vermieden wird. Dieses Gleichgewicht ermöglicht global verständliche, kontextauthentische Materialien.

Die Verbindung von Mehrsprachigkeit, Interaktivität und Standardisierung bietet einen effektiven Rahmen für Wissensaustausch und Kommunikation. Interaktive Werkzeuge – wie dynamische Glossare, adaptive Querverweise und verknüpfte Visuals – erlauben den Zugriff auf Materialien in mehreren Sprachen ohne Verlust von Genauigkeit oder Lesbarkeit. Der Ansatz steigert Effizienz bei Informationsbeschaffung und Interpretation und unterstützt interdisziplinäre Forschung, internationale Bildung sowie kreative Zusammenarbeit über sprachliche und kulturelle Grenzen hinweg.

Darüber hinaus ermöglicht die Universalität der Methodik die Integration heterogener Texttypen in ein einheitliches, strukturiertes digitales Ökosystem. Akademische Artikel, literarische Werke, offizielle Berichte und multimediale Annotationen können innerhalb einer interaktiven Plattform koexistieren, verbunden durch standardisierte Metadaten, mehrsprachige Indexierung und Querverweise.

Dies bietet den Nutzer:innen eine kohärente, intuitive und inklusive Erfahrung, unabhängig von sprachlichem Hintergrund oder beruflichem Bereich.

Die Einhaltung internationaler Publikationsstandards und Metadatenprotokolle (z. B. DOI, ORCID, MARC, Dublin Core) ermöglicht Interoperabilität mit wissenschaftlichen Datenbanken, institutionellen Repositorien und Kulturarchiven und stärkt so die langfristige Erhaltung und Zugänglichkeit der Inhalte.

Auf Grundlage dieser Prinzipien werden mehrsprachige interaktive Diagramme entwickelt, die Verbindungen zwischen Sprachen, Disziplinen und Inhaltstypen zeigen. Sie veranschaulichen strukturelle, semantische und kulturelle Zusammenhänge innerhalb eines einheitlichen Informationsrahmens und fördern Verständnis sowie Nutzerengagement (Abb. 1).

Option 1 ist kurz:

x – назва матеріалу / material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

Option 2 - mit separat übersetztem Namen:

x – назва матеріалу
x – material name
[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

Option 3 ist eine erweiterte Regelung mit Blöcken:

Блок X – Назва матеріалу / Block X – Material Name

- UA-X (Українська)
- EN-X (Англійська / English)
- ES-X (Іспанська / Español)
- FR-X (Французька / Français)
- DE-X (Німецька / Deutsch)
- PT-X (Португальська / Português)
- JA-X (Японська / 日本語)

Option 4 ist eine vereinfachte detaillierte Regelung:

X – Назва матеріалу
X – Material Name

- UA-X
- EN-X
- ES-X
- FR-X
- DE-X
- PT-X
- JA-X

Erläuterung:

- [UA-X], [EN-X] - interaktive Links zu den jeweiligen Sprachversionen.
- X — Nummer des Materials, der Seite oder des entsprechenden Abschnitts im Material.
- Diese Struktur ermöglicht eine universelle Darstellung jeglicher Materialien bei gleichzeitiger Wahrung von Konsistenz und Standardisierung.
- Geeignet für wissenschaftliche, literarische, künstlerische und geschäftliche Dokumente.

Abb. 1. Algorithmus der universellen Materialstruktur

Quelle: eigene Entwicklung.

Ziel dieses Artikels ist die Vorstellung einer universellen Methodik für die interaktive mehrsprachige Präsentation von Textmaterialien. Sie umfasst Algorithmen zur Erstellung einer Basisversion eines Textes und deren anschließende Übersetzung in andere Sprachen unter Wahrung semantischer Genauigkeit und terminologischer Konsistenz sowie Mechanismen für interaktive Navigation zwischen Sprachversionen und strukturellen Blöcken. Die Qualität wird durch Rückübersetzung, Expertenprüfung und Standardisierung der Formate gesichert.

Zur systematischen Bewertung mehrsprachiger Materialien werden quantitative Indikatoren vorgeschlagen. Die semantische Übersetzungsgenauigkeit (St) verhindert die Ansammlung bedeutungsbezogener Fehler und bewertet die Übereinstimmung von Terminologie und Phraseologie mit Standards. Die Interaktivität der Navigationsblöcke (In) erleichtert den Übergang zwischen Sprachversionen und Textstrukturen und steigert den Gesamtnutzen für die Nutzer.

Der Ansatz zeigt die praktische Anwendung der Methodik in verschiedenen Publikationstypen: wissenschaftliche Serien („InPlatform“), literarische und künstlerische Sammlungen („Licht in der Seele“) sowie Geschäftsdokumente. Er gewährleistet Flexibilität, standardisierte Struktur und Format und bewahrt semantische Genauigkeit, kulturelle Authentizität sowie barrierefreie Zugänglichkeit, auch für sehbehinderte Nutzer von Braille- oder sprachbasierten Schnittstellen.

Die Methodik beruht auf einer detaillierten Analyse der Navigationsmerkmale von Texten in wissenschaftlichen, geschäftlichen und kreativen Materialien. Dies ermöglicht die Identifikation zentraler Struktur- und Zugänglichkeitsindikatoren und die Entwicklung eines universellen Ansatzes zur Bewertung von Interaktivität und Übersetzungsqualität in mehrsprachigen Publikationen (Tabelle 1).

1. Navigation für wissenschaftliche, geschäftliche und kreative Materialien

Name / Named	UA	EN	FR	DE	ES	PT	JA
Abschnitt 1 / Material X	x	x	x	x	x	x	x
Abschnitt 2 / Material K	x	x	x	x	x	x	x
Abschnitt 3 / Material G	x	x	x	x	x	x	x
...	...	...	...	...	...	...	...

Erläuterung:

- Jede Zeile entspricht einem Material (wissenschaftlich, literarisch, künstlerisch, geschäftlich).
- Die Spalten UA, EN, FR, DE, ES, PT, JA enthalten Links zu den jeweiligen Sprachversionen.
- Die Tabelle verdeutlicht die Vielseitigkeit und Interaktivität der Navigation für alle Materialtypen, sei es eine Serie interaktiver wissenschaftlicher Mehrsprachpublikationen, geschäftlicher Dokumente oder literarischer und künstlerischer Sammlungen [1, 4, 10].

Quelle: eigene Entwicklung.

In zeitgenössischen wissenschaftlichen, beruflichen und kulturellen Publikationen sind Übersetzungsqualität und Navigationsfreundlichkeit entscheidend. Besonders in mehrsprachigen Ausgaben beeinflussen Genauigkeit der

Bedeutungsübertragung und strukturierte Informationsdarstellung Wahrnehmung und Kommunikationseffizienz. Zur Lösung dieser Herausforderungen wurde eine interaktive mehrsprachige Methodik entwickelt, die systematische Übersetzungsbewertung mit Analyse der Navigationsinteraktivität verbindet und zugleich Inklusivität für alle Nutzer gewährleistet, einschließlich sehbehinderter Personen. Materialien können für assistive Technologien wie Braille, Bildschirmleser oder Audiooberflächen adaptiert werden, sodass sie auch für Menschen mit Sehschwäche oder Blindheit zugänglich sind.

Die Grundlage zur Bewertung der Übersetzungsqualität in mehrsprachigen Texten bildet die Berechnung des mittleren Koeffizienten der semantischen Genauigkeit, der die Anhäufung semantischer Fehler in mehrsprachigen Publikationen verhindert (Formel 1):

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1)$$

Legende:

St - mittlerer Koeffizient der semantischen Genauigkeit;

Ci — Genauigkeitswert der Übersetzung des i-ten Begriffs oder Ausdrucks (1 – vollständig korrekt, 0 – Bedeutung verloren);

n — Anzahl der Begriffe oder Ausdrücke im Text.

Es dient dazu, die Qualität einer Übersetzung zu bewerten und die Anhäufung semantischer Fehler in einer mehrsprachigen Veröffentlichung zu verhindern.

Quelle: eigene Entwicklung.

Dieser Koeffizient ermöglicht eine systematische Bewertung der Übersetzungen und zeigt den Grad der terminologischen und phraseologischen Übereinstimmung mit etablierten Standards. Auf Basis dieses Indikators lassen sich Fehler erkennen und Strategien zur Verbesserung der Übersetzungsgenauigkeit in späteren Versionen entwickeln.

Die Bewertung der Effizienz von Navigationsblöcken gewährleistet zugleich die Interaktivität und Benutzerfreundlichkeit des Textes. Hierfür wird der Prozentsatz der Materialinteraktivität bestimmt (Formel 2):

$$I_n = \frac{B_a}{B_t} \quad (2)$$

Legende:

In - Interaktivitätsgrad (Verfügbarkeit von Navigationsbuttons oder Symbolen);

Ba — Anzahl aktiver Navigationsblöcke;

Bt — Gesamtzahl der Blöcke im Material.

Dieser Indikator wird verwendet, um die Leichtigkeit der Navigation zwischen Sprachversionen und Bausteinen zu bewerten.

Quelle: eigene Entwicklung.

Anhand dieses Indikators wird die Benutzerfreundlichkeit der Navigation zwischen Sprachversionen und Textstrukturen bewertet. Ein hoher

Interaktivitätsgrad erleichtert die Orientierung, vereinfacht den Informationszugang und erhöht den Gesamtnutzen des Materials für die Nutzer.

Die Neuheit des vorgeschlagenen Ansatzes besteht darin, dass die Berechnung von St und In auch auf adaptierte Versionen von Materialien für sehbehinderte Nutzer angewendet werden kann. Bei der Integration von Braille, Audiooberflächen oder speziellen Navigationstools lassen sich beispielsweise bewerten:

- die semantische Genauigkeit der Informationsübertragung (St) in barrierefreien Formaten;
- die Effektivität der Navigation (In) über strukturelle Blöcke und Sprachversionen für alle Nutzergruppen.

Die Kombination von semantischer Übersetzungsgenauigkeit, Interaktivität der Navigationsblöcke und Barrierefreiheit für sehbehinderte Nutzer schafft eine Grundlage für die Erstellung mehrsprachiger Texte, die präzise, strukturiert, nutzerfreundlich und inklusiv sind. Dieser umfassende Ansatz steigert den wissenschaftlichen, beruflichen und kulturellen Wert von Publikationen durch Interaktivität, Zugänglichkeit und Inklusivität.

Die Methodik erlaubt die Anpassung von Texten an verschiedene Plattformen und Formate, wobei Übersetzungskonsistenz, Interaktivität und Zugänglichkeit gewahrt bleiben. So ist der Ansatz ein universelles Werkzeug für moderne wissenschaftliche, berufliche und kulturelle Inhalte.

Diskussion

Heute treten Interaktivität und Mehrsprachigkeit nicht nur als technische Übersetzungswerkzeuge, sondern als konzeptionelle Prinzipien zur Strukturierung von Inhalten in zeitgenössischen Serien auf. Diese Serien verbinden Universalität und Standardisierung und berücksichtigen zugleich die spezifischen Anforderungen wissenschaftlicher, beruflicher, administrativer und kulturell-künstlerischer Kontexte. So entstehen Materialien, in denen jede Sprachversion kein isoliertes Duplikat, sondern ein integraler Bestandteil eines interaktiven Informationsökosystems ist, das logische Kohärenz, terminologische Konsistenz und semantische Präzision gewährleistet.

Besonders bedeutsam ist die Zugänglichkeit für sehbehinderte Nutzer, die in traditionellen Ansätzen häufig fehlt. Die interaktive mehrsprachige Methodik integriert grundlegende, jedoch entscheidende Funktionen wie Navigationselemente, schnelles Wechseln zwischen Sprachversionen und Themenmodulen, Kompatibilität mit Bildschirmlesern, Schriftgrößenanpassung, Sprachanweisungen und logische Inhaltsstruktur. Dieser Ansatz erhöht nicht nur die Zugänglichkeit, sondern etabliert ein neues Maß an Inklusivität in wissenschaftlichen, beruflichen und kulturell-künstlerischen Serien.

Interaktivität und Mehrsprachigkeit tragen bei zu:

- Sicherstellung der Genauigkeit und Konsistenz von Terminologie, insbesondere in interdisziplinären Forschungsbereichen;
- Bereitstellung von Materialien für die internationale Gemeinschaft in mehreren Sprachen ohne Verlust von Bedeutung oder logischer Struktur;
- Integration in globale scientometrische Datenbanken (z. B. Scopus, Web of Science, DOAJ), wodurch die Sichtbarkeit von Publikationen erhöht und transnationale wissenschaftliche Netzwerke gefördert werden.

Interaktive Mehrsprachigkeit gewährleistet:

- Transparenz der Kommunikation, rechtliche Genauigkeit und stilistische Neutralität von Dokumenten;
- Verringerung von Missverständnissen in multinationalen Unternehmen und internationalen Organisationen;
- Voraussetzungen für effektive internationale Partnerschaften, bei denen jede Sprachversion gleichwertige Informations- und Rechtsgültigkeit besitzt.

Interaktive Mehrsprachigkeit ist ein zentrales Instrument des interkulturellen Dialogs, also strukturierter Kommunikation zwischen verschiedenen sprachlichen und kulturellen Gemeinschaften. Die Methodik erlaubt, künstlerische Texte, literarische Sammlungen und kreative Projekte über Sprachbarrieren hinweg zu präsentieren, wobei stilistische Integrität und ästhetische Kohärenz gewahrt bleiben (künstlerischer Effekt und narrative Struktur in allen Sprachen). So entstehen neue kulturelle Räume, in denen Werke internationale Anerkennung finden, ein globales Publikum erreichen und interkulturelles Verständnis fördern. Interaktive Mehrsprachigkeit fungiert hier nicht nur als Übersetzungswerkzeug, sondern als dynamischer Rahmen für kulturellen Austausch.

Interaktivität wird über mehrere Mechanismen umgesetzt, die Benutzerfreundlichkeit, Verständnis und Zugänglichkeit erhöhen:

- Strukturierte thematische Blöcke und hierarchische Gliederung (systematische Anordnung von Materialien in logisch aufeinanderfolgenden Einheiten), die Nutzer kohärent durch Inhalte führen und Forschung sowie Lehre erleichtern;
- Schneller Sprachwechsel (nahtloses Umschalten zwischen mehreren Sprachversionen desselben Inhalts), der semantische Treue bewahrt und den Zugriff in bevorzugter Sprache ermöglicht;
- Integrierte Navigationselemente (interaktive Schaltflächen, Symbole, Hyperlinks), die effizientes Erkunden der Inhalte ermöglichen und den Kontext beim Wechsel zwischen Abschnitten wahren;
- Kompatibilität mit Assistenzsoftware (z. B. Bildschirmleser, Braille-Displays, Vergrößerungshilfen), die die Plattform inklusiv für sehbehinderte Nutzer oder andere Zugangsbedürfnisse macht.

Die Primärsprache der Plattform (meist Englisch) fungiert als Referenzstandard für alle Übersetzungen und erfüllt drei zentrale Funktionen:

- Sicherstellung der Qualitätskontrolle über alle Sprachversionen;
- Verhinderung der Anhäufung von Übersetzungsfehlern;
- Wahrung der semantischen Konsistenz (Erhalt der inhaltlichen Bedeutung über alle Sprachen hinweg).

Dieser Ansatz ermöglicht die Entwicklung mehrsprachiger Datenbanken, Bildungsplattformen und Kommunikationsressourcen, zugeschnitten auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Nutzergruppen — Studierende, Forschende, Verwaltungsfachkräfte, Manager, Kulturschaffende und Menschen mit Behinderungen. Interaktive Elemente verknüpfen Text-, Audio- und Multimedialinhalte nahtlos, fördern vertieftes Wissen, interkulturelle Kommunikation und interdisziplinären Austausch.

Die Verbindung von Interaktivität und Mehrsprachigkeit erhöht Flexibilität, Anpassungsfähigkeit und Resilienz digitaler Plattformen, sodass Nutzer fließend zwischen Sprachen, thematischen Abschnitten und Lernmodulen navigieren können, ohne logische Struktur oder konzeptionelle Integrität des Originalmaterials zu beeinträchtigen. So bleiben Informationen präzise, zugänglich und kulturell relevant in einem globalisierten Bildungs- und Wissenschaftsumfeld.

Mehrsprachige, interaktive Plattformen bieten adaptive Lernmöglichkeiten, indem Inhalte an Vorkenntnisse, Lerntempo und fachliche Anforderungen der Nutzer angepasst werden. Diese Personalisierung verbessert Lernergebnisse und Engagement und fördert kritisches Denken sowie Analysefähigkeiten, da Nutzer aktiv mit den Inhalten interagieren, statt sie passiv aufzunehmen.

Der mehrsprachige Ansatz trägt wesentlich zur Inklusivität in digitalen Umgebungen bei und gewährleistet gleichberechtigten Zugang zu Ressourcen für Nutzer mit unterschiedlichen Sprachkenntnissen, kognitiven Fähigkeiten und digitaler Kompetenz. Er fördert digitale Kompetenz, soziale Anpassung und berufliche Integration von Menschen mit Behinderungen und eröffnet zugleich neue Möglichkeiten für Fernunterricht, internationale Zusammenarbeit und interkulturellen Wissensaustausch.

Interaktive, mehrsprachige Methodiken unterstützen zudem die Bildung von Praxisgemeinschaften, in denen Forschungsergebnisse, Lehrmaterialien und Best Practices geteilt werden. Solche kollaborativen Umgebungen stimulieren interdisziplinäre Kooperation, beschleunigen die globale Wissensverbreitung und stärken Innovation sowie nachhaltige Entwicklungsinitiativen in Wissenschaft, Bildung und Beruf.

Die interaktive Mehrsprach-Methodik erweist sich als universelles, leistungsfähiges Instrument zur Entwicklung moderner wissenschaftlicher,

pädagogischer, beruflicher und kultureller Inhalte. Sie vereint strukturelle Kohärenz, terminologische Präzision und technologische Anpassungsfähigkeit mit Offenheit, Zugänglichkeit und nutzerzentrierter Inklusivität und etabliert ein neues Paradigma für Wissensproduktion, Lernen und Kommunikation im globalen digitalen Umfeld.

Die praktische Relevanz der Implementierung interaktiver Mehrsprach-Methoden zeigt sich in ihrer breiten Anwendung über verschiedene Bereiche hinweg, wodurch zentrale Vorteile erzielt und messbare Ergebnisse entsprechend etablierter Effizienzkriterien erreicht werden (Tabelle 2).

2. Vergleichende Anwendung der interaktiven Mehrsprach-Methodik in unterschiedlichen Bereichen

Bereich	Hauptvorteile	Zu lösende Probleme
Wissenschaftlich (Scopus, WoS)	Erhöht Sichtbarkeit und Zitierbarkeit, gewährleistet terminologische Genauigkeit	Verhindert semantische Verschiebungen; standardisiert Referenzsysteme
Literarisch und kulturell	Fördert interkulturellen Dialog; erweitert Publikum; bewahrt stilistische Merkmale	Vermeidet Verlust kultureller Kontexte bei Übersetzung
Beruflich (Business)	Sichert Klarheit in Verträgen, Berichten und Unternehmenskommunikation; Einhaltung von Standards	Beseitigt terminologische Inkonsistenzen zwischen Rechtsräumen
Offiziell und rechtlich	Gewährleistet rechtliche Genauigkeit, administrative Konsistenz und globale Kompatibilität	Minimiert Fehlinterpretationen in kritischen Dokumenten

Quellen: eigene Darstellung basierend auf [1-6, 9].

Dieser Rahmen zeigt zudem, dass Interaktivität nicht nur eine technische Funktion ist, sondern ein pädagogisches und kulturelles Instrument, das Engagement, Verständnis und Wissensvermittlung fördert. Mehrsprachigkeit geht über reine Übersetzung hinaus und wirkt als Brücke zwischen verschiedenen Zielgruppen, Perspektiven und Interpretationsrahmen. So gewährleistet die Methodik, dass Wissen und kreative Ausdrucksformen über sprachliche und kulturelle Grenzen hinweg zugänglich, inklusiv und wirksam bleiben.

Nach der Analyse der Implementierung der interaktiven Mehrsprach-Methodik in verschiedenen Bereichen ist es entscheidend, die praktischen Mechanismen von Interaktivität und Anpassungsfähigkeit für sehbehinderte Personen genauer zu betrachten. Diese Mechanismen erzeugen nicht nur zusätzlichen funktionalen Nutzen, sondern betonen auch den innovativen und transformativen Charakter des vorgeschlagenen Ansatzes.

Innerhalb digitaler Plattformen wird Interaktivität durch eine synergetische Kombination aus strukturierten Inhaltsblöcken, Navigationskomponenten und Content-Management-Schnittstellen umgesetzt. Diese Integration erleichtert eine effiziente Orientierung in umfangreichen Materialsammlungen. Für sehbehinderte

Nutzer sind diese interaktiven Elemente besonders bedeutend, da sie den Zugang zu Informationen eröffnen, die zuvor teilweise oder vollständig unzugänglich waren.

Grundlegende Komponenten der Interaktivität mit integrierter Barrierefreiheit
Strukturierte thematische Blöcke:

- Inhalte sind systematisch in kohärente Abschnitte mit klaren Überschriften gegliedert, sodass sich Nutzer schnell im Text orientieren können.
- Jeder Abschnitt enthält Metadaten und semantische Labels zur Kompatibilität mit Bildschirmlesegeräten, wodurch sehbehinderte Nutzer effektiv zwischen den Materialsegmenten wechseln können.

Navigationselemente:

- Hyperlinks und interaktive Schaltflächen ermöglichen direkte Übergänge zwischen Sprachversionen oder thematischen Modulen und vermeiden umfangreiches Scrollen.
- Symbole und pictografische Indikatoren erleichtern die schnelle Identifikation von Materialtypen (z. B. wissenschaftlicher Text, Tabellen, Grafiken oder Zusatzressourcen). Alle Elemente sind konsistent mit Textalternativen für assistive Technologien versehen.

Anpassung an unterstützende Technologien:

- Plattformen sind vollständig interoperabel mit Bildschirmlesern, Vergrößerungssoftware und anderen assistiven Lösungen.
- Das Design verwendet hochkontrastreiche Farbgestaltungen und dynamisch skalierbare Typografie, um den visuellen Komfort für Nutzer mit eingeschränktem Sehvermögen zu optimieren.
- Tabellen- und Grafikdarstellungen werden systematisch mit Textannotation und beschreibenden Ebenen ergänzt, die den semantischen Inhalt visuell dargestellter Daten vermitteln.

Sprachführung und akustische Hinweise:

- Zentrale Materialien können durch Audio-Narration wichtiger Abschnitte ergänzt werden, zusätzlich zu Navigationshinweisen, die Nutzer durch die digitale Umgebung führen.
- Sprachbasierte Interaktionsmechanismen bieten einen alternativen Zugang, der die Orientierung innerhalb von Materialsequenzen ohne visuelle Wahrnehmung ermöglicht und so den inklusiven Nutzerkreis deutlich erweitert.

Referenzsprache und Qualitätssicherung von Übersetzungen:

- Die konsequente Nutzung einer festgelegten Referenzsprache (meist Englisch) gewährleistet die Wahrung logischer Kohärenz, terminologischer Präzision und semantischer Integrität über alle mehrsprachigen Adaptionen hinweg. Dies ist besonders für sehbehinderte Personen von Bedeutung, die auf stabile

Navigationsstrukturen und sprachliche Genauigkeit angewiesen sind, um Informationen effektiv zugreifen und verarbeiten zu können.

Praktische Vorteile des Ansatzes:

- Inklusivität: Der Ansatz gewährleistet gleichberechtigten Zugang zu wissenschaftlichen, beruflichen, geschäftlichen und kulturell-künstlerischen Ressourcen für sehbehinderte Personen. Durch die direkte Integration von Barrierefreiheitsmechanismen in das Grunddesign können Personen, die traditionell beim Zugriff auf Text-, Tabellen- oder Multimediainhalte eingeschränkt sind, vollumfänglich in akademische, berufliche, geschäftliche und künstlerische Bereiche einbezogen werden. Die Methodik fördert soziale Teilhabe, indem sie eine Plattform schafft, auf der alle Nutzer, unabhängig von sensorischen Einschränkungen, gleiche Möglichkeiten haben, mit den Materialien zu interagieren.
- Effizienz: Strukturiert angeordnete Inhalte in klar definierten thematischen Blöcken, kombiniert mit interaktiven Navigationselementen, ermöglichen eine effiziente Navigation durch umfangreiche Informationsmengen. Dies reduziert die kognitive Belastung und Suchzeiten, sodass Forschende, Fachkräfte und Kulturschaffende relevante Informationen schnell und präzise finden, analysieren und verarbeiten können. Für sehbehinderte Nutzer steigern interaktive Hinweise und mit Screenreadern kompatible Elemente die Bedienungseffizienz aller Inhaltstypen zusätzlich.
- Universalität: Die Prinzipien der interaktiven Mehrsprachigkeit lassen sich auf wissenschaftliche Serien, berufliche Dokumentationen, Geschäftsmaterialien und kulturell-künstlerische Projekte anwenden. Diese Universalität gewährleistet gleichzeitig Zugänglichkeit, terminologische Genauigkeit und logische Kohärenz. Unabhängig davon, ob die Plattform wissenschaftliche Forschung, professionelle Berichte, Geschäftsdokumente, literarische Sammlungen oder multimediale Ausstellungen präsentiert, sorgt die Methodik für konsistente Inhaltsbereitstellung bei Berücksichtigung unterschiedlicher sprachlicher und sensorischer Bedürfnisse.
- Soziale Innovation: Traditionelle Ansätze für mehrsprachige Plattformen integrieren selten umfassende Inklusivität als Kernfunktion. Interaktive Mehrsprachigkeit stellt daher ein wegweisendes Beispiel für eine vollständig integrierte inklusive Methodik dar, schließt Lücken in bestehenden Systemen und setzt einen Maßstab für sozial verantwortliches digitales Design in akademischen, beruflichen, geschäftlichen und kulturellen Kontexten.

Interaktivität über verschiedene Materialtypen hinweg:

In Projekten, die wissenschaftliche, berufliche, geschäftliche und kulturell-künstlerische Materialien umfassen, erfüllen interaktive Elemente eine Reihe

praktischer Funktionen zur Verbesserung von Benutzerfreundlichkeit und Inhaltszugänglichkeit:

- ***Nahtloses Sprachwechseln:*** Nutzer können zwischen verschiedenen Sprachversionen der Materialien wechseln, ohne dass Stil, Genauigkeit oder semantische Nuancen verloren gehen. Dies bewahrt die Stimme des Autors in literarischen Werken und gewährleistet terminologische Präzision in wissenschaftlichen, beruflichen und geschäftlichen Texten.
- ***Zugang zu ergänzenden Materialien:*** Interaktive Links liefern Erläuterungen von Fachbegriffen, Glossare spezieller Konzepte oder kontextbezogene Informationen zum Inhalt. Dieser Ansatz fördert Verständnis und Engagement, insbesondere bei Nicht-Muttersprachlern, sehbehinderten Nutzern und Personen mit eingeschränktem Zugang zu traditionellen Referenzressourcen.
- ***Audio- und Texthinweise:*** Vertonung und textuelle Hinweise ermöglichen es sehbehinderten Nutzern, effektiv mit allen Materialtypen — wissenschaftlich, beruflich, geschäftlich oder künstlerisch — zu interagieren. Multimodale Managementsysteme sorgen für gleichberechtigten Informationszugang, unterstützen inklusive Teilnahme und umfassendes Verständnis des Inhalts unabhängig vom Format.
- ***Integration interkultureller und interdisziplinärer Kommunikation:*** Interaktive Elemente fördern den interkulturellen und interdisziplinären Austausch, indem Materialien, Anmerkungen und erläuternde Ressourcen miteinander verknüpft werden, während die Barrierefreiheit für ein internationales Publikum gewahrt bleibt. Dieser Ansatz unterstützt kulturübergreifendes Verständnis, wissenschaftliche Zusammenarbeit und professionelle Kommunikation und gewährleistet logische Kohärenz, Inklusivität und einfache Navigation über verschiedene Materialtypen hinweg.

Schlussfolgerungen

Interaktiver Mehrsprachigkeit in Kombination mit Barrierefreiheit etabliert ein neues Paradigma universeller Kommunikation. Sie gewährleistet zugleich strukturelle Kohärenz, terminologische Genauigkeit, Inklusivität und benutzerfreundliche Funktionalität für unterschiedliche Nutzergruppen, einschließlich sehbehinderter Personen. Dieser Ansatz schafft günstige Voraussetzungen für die nachhaltige Entwicklung wissenschaftlicher, fachlicher und kulturell-künstlerischer Reihen im globalen digitalen Umfeld und verdeutlicht sowohl die praktische Neuheit als auch die gesellschaftliche Relevanz der interaktiven mehrsprachigen Methodik.

Die interaktive mehrsprachige Methodik gewährleistet Konsistenz von Terminologie, semantischer Bedeutung und logischer Struktur über alle Sprachversionen eines Textes hinweg [1, 2]. Die semantische Übersetzung in

Verbindung mit strengen Qualitätskontrollen wie Rückübersetzung sichert Präzision, Zuverlässigkeit und akademische Glaubwürdigkeit [5, 8]. Diese Mechanismen sind entscheidend, um semantische Verschiebungen zwischen den Sprachen zu verhindern, insbesondere in Kontexten, in denen technische Genauigkeit und konzeptionelle Integrität von zentraler Bedeutung sind.

In der Praxis zeigt die Methodik eine hohe Effektivität in mehreren Bereichen:

- Wissenschaftliche Publikationen: Steigerung der Sichtbarkeit von Forschungsergebnissen, Sicherstellung der Einhaltung internationaler Indexierungssysteme (z. B. Scopus, Web of Science, DOAJ) und Förderung der Teilnahme an globalen akademischen Debatten.
- Literarische und künstlerische Projekte: Wahrung der stilistischen Integrität bei gleichzeitiger Öffnung des Zugangs für ein breiteres internationales Publikum, wodurch interkultureller Dialog und Anerkennung kreativer Werke über Sprachgrenzen hinweg unterstützt werden.
- Administrative und geschäftliche Dokumentation: Sicherstellung rechtlicher Präzision, terminologischer Standardisierung und Transparenz in Entscheidungsprozessen multinationaler und mehrsprachiger Organisationen [4, 7].

Ein ebenso wichtiger Bestandteil dieser Methodik liegt in ihrer interaktiven Dimension. Die Integration interaktiver Symbole, Navigationsschaltflächen, Hyperlinks und semantischer Markierungen ermöglicht den Nutzenden einen nahtlosen Wechsel zwischen Sprachversionen und strukturellen Abschnitten. Dies erhöht die Zugänglichkeit und Benutzerfreundlichkeit erheblich, insbesondere in digitalen Umgebungen mit großen Mengen akademischer, fachlicher oder kreativer Inhalte [3, 9]. Aus der Perspektive des inklusiven Designs steigert die Kombination von Mehrsprachigkeit und interaktiver Navigation die Barrierefreiheit für sehbehinderte Nutzer:innen, da sie die Kompatibilität mit Screenreadern, Text-to-Speech-Software und adaptiven Anzeigehilfen erleichtert.

Über die aktuellen Anwendungsfelder hinaus besitzt die Methodik erhebliches Potenzial für die Adaption auf weitere internationale Reihen und Plattformen. Ihre Integration in globale Forschungsinfrastrukturen – einschließlich ORCID, Crossref, institutioneller Repositorien und Open-Access-Publikationssysteme – könnte nicht nur die Sichtbarkeit, sondern auch die nachhaltige Zitierfähigkeit von Publikationen im globalen Kontext sichern.

Darüber hinaus gewährleistet die Ausrichtung an internationalen Barrierefreiheitsstandards wie WCAG 2.1 [11] und ISO 9241-171 [12], dass Inhalte, die mit dieser Methodik erstellt oder geteilt werden, anerkannten Prinzipien des inklusiven Designs entsprechen. WCAG 2.1 bietet detaillierte Richtlinien, um webbasierte Materialien für Personen mit Seh-, Hör-, kognitiven oder motorischen

Einschränkungen zugänglich zu machen, während ISO 9241-171 ergonomische Prinzipien für Software-Barrierefreiheit fokussiert und die Benutzerfreundlichkeit für ein breiteres Publikum erhöht. Durch die Integration dieser Standards fördert die Methodik nicht nur die Einhaltung, sondern auch die Erstellung von Materialien, die gerecht, inklusiv und universell nutzbar sind.

Blickt man nach vorn, könnte sich die interaktive Mehrsprachigkeit durch die Integration KI-gestützter Übersetzungen, adaptiver mehrsprachiger Datenbanken und automatisierter semantischer Prüfwerkzeuge weiterentwickeln. Solche Innovationen werden nicht nur die Übersetzung und Verbreitung von Materialien beschleunigen, sondern auch die semantische Präzision und kulturelle Sensibilität bewahren, die in akademischer, rechtlicher und künstlerischer Kommunikation erforderlich sind.

Abschließend sollte interaktive Mehrsprachigkeit, unterstützt durch Barrierefreiheitsfunktionen, nicht lediglich als technische Innovation betrachtet werden. Vielmehr stellt sie einen konzeptionellen und methodischen Rahmen dar, der die Art der Interaktion zwischen Wissen, Kultur und Verwaltung neu gestaltet. Durch die Kombination von Präzision und Inklusivität, lokaler Spezifität und globaler Vernetzung bietet die Methodik die Grundlage für die Schaffung nachhaltiger, universell zugänglicher Kommunikationssysteme. Ihr transformatives Potenzial erstreckt sich über Wissenschaft, Wirtschaft und Kultur und macht sie zu einem Eckpfeiler zeitgenössischer digitaler Kommunikationspraktiken.

Referenzen

1. Hnatiuk, I. (2017). *Multilingual scientific communication: theory and practice*. Kyiv: Kyiv University Press.
2. Smith, J., & Johnson, R. (2021). Semantic translation in scientific publishing. *International Journal of Translation Studies*, 14(2), 101–119.
3. Garcia, I., Pérez, L., & Torres, M. (2020). Multilingual digital platforms: Interactive navigation and user experience. *Journal of Multilingual Communication*, 12(3), 45–62.
4. Melnyk, O. (2021). *Terminological standardisation in multilingual documents*. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv.
5. Baker, M. (2018). *In other words: A coursebook on translation* (3rd ed.). Routledge.
6. Cronin, M. (2017). *Translation and globalization*. Routledge.
7. StateGeoCadastre (2018). *Standards of office work and multilingual documents*. Kyiv: State Land Cadastre.
8. Gile, D. (2009). *Basic concepts and models for interpreter and translator training*. John Benjamins Publishing.

9. Shevchenko, T. (2019). Interactive platforms and user experience. Kharkiv: KHNU.
10. Kovalenko, L. (2020). Literary and artistic translations: methodology and practice. Kyiv: Naukova Dumka.
11. W3C. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1.
<https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
12. ISO 9241-171:2008. Ergonomics of human-system interaction — Part 171: Guidance on software accessibility.

[PT_1]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Metodologia e multilinguismo de textos interativos

Resumo

A metodologia de apresentação interativa e multilingue de materiais textuais é concebida como uma ferramenta universal capaz de garantir a criação, harmonização e disseminação de conteúdos de diferentes tipos — desde artigos científicos e monografias até coleções literárias e artísticas, bem como documentos empresariais e oficiais. Sua singularidade reside na combinação de dois aspectos inter-relacionados: universalidade linguística e navegação interativa. Este enfoque permite superar barreiras entre diferentes escolas científicas, tradições culturais e ambientes administrativos, criando uma plataforma estruturada única para apresentação da informação.

O princípio central é o uso de uma língua base, que serve como referência principal para todo o sistema de traduções. Frequentemente, esta função é atribuída ao inglês, reconhecido como lingua franca da ciência, educação e comunicação empresarial internacionais. No entanto, a metodologia não se limita ao inglês: qualquer texto pode ser originalmente criado em outra língua — ucraniano, francês, alemão, japonês ou outras. Caso o original não seja em inglês, este é traduzido e simultaneamente ampliado, refinado e complementado para formar uma versão base abrangente. Esta versão base torna-se posteriormente a única fonte para todas as traduções subsequentes, garantindo precisão semântica, consistência terminológica e coerência lógica entre todas as variantes linguísticas.

A metodologia prevê um sistema de controle de qualidade em múltiplos níveis. Primeiramente, utiliza-se a prática da retrotradução (back-translation) para identificar desvios semânticos entre o original e a tradução. Em segundo lugar, filólogos profissionais e falantes nativos realizam a adaptação estilística e cultural do texto. Em terceiro lugar, aplica-se a padronização de formatos: títulos, numeração, notações, estruturas de referências e bibliografias são unificados. Graças a esses mecanismos, os materiais integrados podem ser incorporados de forma eficaz

em bases de dados internacionais — Scopus, Web of Science, DOAJ — bem como em plataformas oficiais multilíngues de caráter empresarial, jurídico e cultural.

O artigo apresenta os princípios de construção da língua base, algoritmos de tradução e harmonização das versões multilíngues, além de descrições de diagramas interativos e tabelas de navegação. Como estudos de caso, são consideradas séries científicas (“InPlatforma”) e coleções literárias-artísticas (série “Luz na Alma”). A universalidade da abordagem permite também sua aplicação em práticas empresariais e de documentos oficiais. Destaca-se, ainda, o potencial de universalização desta metodologia para qualquer tipo de documento, em que a combinação de multilinguismo, interatividade e padronização abre novas oportunidades para uso eficiente da informação.

Portanto, a metodologia de apresentação interativa e multilíngue de materiais textuais possui importância estratégica. Ela combina padronização e flexibilidade, rigor científico e diversidade cultural, especificidades locais e normas internacionais, contribuindo tanto para o avanço da pesquisa acadêmica quanto para a disseminação de práticas artísticas e empresariais no espaço global de informação.

Palavras-chave: publicação multilíngue, navegação interativa, língua base, tradução semântica, séries científicas e artísticas, documentos empresariais, harmonização de versões, normas internacionais, Scopus, Web of Science, DOAJ, adaptação cultural, retrotradução.

Introdução

Nas publicações científicas, profissionais e culturais contemporâneas, um dos aspectos críticos é garantir traduções de alta qualidade, navegação conveniente e acessibilidade universal dos materiais. Esta questão torna-se especialmente relevante em edições multilíngues, em que a precisão semântica, a apresentação estruturada e a inclusão de todos os usuários determinam diretamente a eficácia da comunicação e a visibilidade internacional dos resultados de pesquisa.

A metodologia interativa e multilíngue proposta oferece acessibilidade não apenas para usuários com visão normal, mas também para indivíduos com deficiência visual ou cegueira total, permitindo o uso de tecnologias assistivas, como Braille e interfaces de voz. Essa abordagem assegura um alto nível de inclusão, combinando os princípios do design universal com os requisitos da comunicação acadêmica e profissional.

A novidade científica da metodologia reside na integração de três componentes inter-relacionados:

- avaliação da precisão semântica das traduções, prevenindo a acumulação de distorções de significado;
- interatividade dos blocos de navegação, aumentando a usabilidade e a adaptabilidade dos materiais;

- acessibilidade para usuários com deficiência visual por meio da incorporação de formatos especializados e tecnologias assistivas.

A comunicação acadêmica, cultural e empresarial moderna não pode funcionar sem recursos multilingues, uma vez que o intercâmbio global de informações pressupõe interação entre representantes de diferentes países, escolas de pesquisa, tradições culturais e sistemas administrativos. Na publicação acadêmica, o multilinguismo contribui para maior visibilidade internacional das pesquisas em bases de dados indexadas, como Scopus, Web of Science e DOAJ, proporcionando acesso ampliado a resultados e metodologias relevantes [1, 2]. Em coleções literárias e artísticas, promove o diálogo intercultural e a divulgação das obras de autores [3, 4]. No âmbito empresarial e documental oficial, garante precisão jurídica e administrativa, conformidade com padrões de governança corporativa e facilita a cooperação internacional.

O objetivo deste artigo é apresentar uma metodologia abrangente para representação interativa e multilingue de materiais textuais, que inclui:

- algoritmos para produção da versão base do texto com subsequentes traduções para outras línguas, preservando a precisão semântica e a consistência terminológica;
- mecanismos de navegação interativa entre versões linguísticas e blocos estruturais;
- princípios de controle de qualidade por meio de retrotradução, revisão especializada e padronização de formatos;
- adaptação para usuários com deficiência visual mediante integração de Braille, interfaces de voz e outras ferramentas assistivas.

Assim, a metodologia interativa e multilingue se estabelece como um instrumento universal para publicações acadêmicas, culturais e profissionais, combinando precisão semântica, clareza estrutural, acessibilidade e inclusão no ambiente global de informação.

Fundamentos Teóricos do Multilinguismo Interativo

Problema

A comunicação global moderna e a internacionalização da ciência, cultura e negócios exigem materiais compreensíveis e acessíveis a falantes de diferentes línguas e representantes de diversas comunidades culturais. Materiais multilingues frequentemente enfrentam desafios críticos que podem afetar sua qualidade e eficácia:

- Acúmulo de imprecisões em traduções sequenciais. Quando os materiais são traduzidos em várias etapas do idioma original para outros, erros podem se acumular, alterando potencialmente o significado pretendido, especialmente em textos científicos ou técnicos [5].

- Perda de semântica e coerência lógica. Cada etapa da tradução pode modificar estruturas frasais e deslocar ênfases semânticas, levando à fragmentação do texto e à distorção de ideias-chave [6].
- Inconsistências de estilo, formato e terminologia. Diferentes tipos de textos — científicos, jurídicos, literários — requerem conformidade com normas específicas de formatação, convenções estilísticas e terminologia precisa. Desvios desses padrões podem reduzir a clareza, credibilidade e valor acadêmico ou profissional dos materiais [4, 7].

Abordagens para a Solução

Para enfrentar esses desafios, propõe-se uma metodologia abrangente que combina universalidade linguística, precisão semântica e tecnologias interativas:

- Língua Base. Uma única versão linguística — tipicamente o inglês — serve como referência central para todas as outras traduções. Isso garante consistência terminológica e minimiza distorções de significado ao traduzir para outros idiomas.
- Tradução Semântica. Esta abordagem preserva o significado não apenas lexicalmente, mas também em termos de estrutura lógica e relações conceituais do texto original [2].
- Controle de Qualidade. Inclui retrotradução, avaliação por especialistas e falantes nativos, e verificação da consistência estrutural e de formatação, assegurando adaptação estilística e cultural [1, 8].
- Navegação Interativa. O uso de botões, símbolos ou hyperlinks permite que os usuários alternem facilmente entre versões linguísticas e blocos estruturais do material, aumentando a acessibilidade e a experiência do usuário [3, 9].

Algoritmo para Preparação de Materiais Multilíngues Interativos

Textos Científicos:

- Criação da Versão Base: O material original é traduzido para o inglês, incorporando esclarecimentos terminológicos, conteúdo explicativo adicional e otimização estrutural.
- Traduções para Outras Línguas: Realizadas a partir da versão base em inglês, garantindo precisão semântica.
- Navegação Interativa: Símbolos ou botões indicam as versões linguísticas disponíveis, permitindo a troca intuitiva entre idiomas.
- Controle de Qualidade: A retrotradução (back-translation) e a verificação por especialistas reduzem erros e distorções [8].

Textos Literários e Artísticos:

- Texto Original: Criado em ucraniano ou outra língua nacional.
- Traduções: Realizadas para inglês, francês, alemão, italiano, espanhol e outros idiomas, considerando nuances estilísticas e culturais.

- Navegação Interativa: Permite trocar rapidamente entre idiomas e seções.
- Formatação: Exibição em uma ou duas colunas, adaptada para diferentes plataformas e formatos de leitura [10].

Documentos Empresariais e Oficiais:

- Criação da Versão Base: Documentos originais traduzidos para inglês, seguindo normas internacionais de formatação e referências.
- Traduções para Outras Línguas: Realizadas do inglês, considerando exigências legais, administrativas e profissionais.
- Navegação Interativa: Botões ou símbolos permitem alternância eficiente entre versões linguísticas.
- Padronização de Formato: Garante conformidade com normas internacionais e políticas corporativas [4, 7].

Aplicações Práticas:

- Série “InPlatforma”: Integração de materiais científicos em plataforma multilíngue, com navegação interativa que aumenta a acessibilidade.
- Série “Luz na Alma”: Textos literários e artísticos adaptados para leitura multilíngue, incluindo cabeçalhos, rodapés e botões interativos de conteúdo.
- Documentos Empresariais: Versões em inglês padronizadas servem de base para traduções, com navegação interativa que facilita o acesso internacional.

Essa abordagem sistemática garante não apenas alta precisão semântica e consistência estilística, mas também torna os materiais acessíveis a um público global. Proporciona universalidade, interatividade e padronização, aumentando a eficiência, a usabilidade e o alcance de materiais multilíngues nos domínios científico, artístico e profissional.

Vantagens e Inovação da Abordagem

A metodologia multilíngue interativa constitui um sistema abrangente que integra precisão científica, adaptação cultural e integração tecnológica. Esta abordagem oferece diversas vantagens-chave aplicáveis a todos os tipos de materiais textuais — desde publicações acadêmicas e artigos científicos até obras literárias e documentos profissionais — aprimorando tanto a qualidade quanto a acessibilidade do conteúdo em diferentes contextos linguísticos e culturais.

Consistência de Conteúdo e Terminologia:

- O uso de uma língua base, servindo como padrão central para todas as traduções, evita o acúmulo de erros e o “efeito telefone” comum em traduções sequenciais entre múltiplos idiomas.
- A tradução semântica assegura a preservação da coerência lógica, consistência conceitual e significado em todas as versões linguísticas, garantindo que termos-chave, conceitos científicos e nuances culturais permaneçam intactos em adaptações para um público internacional.

- Esta metodologia aumenta significativamente a precisão e confiabilidade de materiais acadêmicos, profissionais e artísticos, sendo crucial para publicações em bases cientométricas, periódicos internacionais e séries literárias [1, 2].
- A consistência de estilo, formatação e elementos estruturais assegura que os materiais estejam organizados profissionalmente e prontos para uso em contextos internacionais e locais.
- Mantendo a exatidão conceitual entre idiomas, minimiza-se o risco de interpretações equivocadas, essencial em comunicações jurídicas, científicas e corporativas.

Navegação Interativa

- A integração de elementos interativos, como botões, símbolos e hyperlinks, permite aos usuários alternar facilmente entre diferentes versões linguísticas e blocos estruturais do material.
- Isso melhora a experiência e acessibilidade do usuário, possibilitando que pesquisadores, estudantes e profissionais naveguem rapidamente para as seções desejadas no idioma de preferência [3, 9].
- A navegação interativa apoia a organização lógica do conteúdo, facilita aprendizado, pesquisa e uso profissional, e sustenta o desenvolvimento de plataformas digitais intuitivas para a disseminação de conteúdos multilíngues.

Maior Visibilidade e Citações

- Graças à sua estrutura multilíngue, formatação padronizada e adesão a protocolos internacionais de metadados, os materiais integrados podem ser incorporados de forma fluida em uma ampla variedade de bases cientométricas internacionais, incluindo Scopus, Web of Science, bem como repositórios de acesso aberto como DOAJ. Esta integração não apenas garante ampla visibilidade entre diferentes públicos acadêmicos e profissionais, mas também aumenta o potencial de citação, facilita o rastreamento de referências e apoia a acessibilidade e interoperabilidade de longo prazo dos materiais dentro de redes de pesquisa globais. Ao cumprir os rigorosos requisitos de padrões internacionais de indexação, a abordagem fortalece significativamente a descoberta, o reconhecimento acadêmico e o impacto do conteúdo entre disciplinas e comunidades linguísticas.
- A metodologia pode ser prontamente adaptada para publicações literárias internacionais, plataformas educacionais e sistemas corporativos, ampliando o alcance do público e garantindo a disseminação eficiente do conteúdo em escala global.
- Ao melhorar a rastreabilidade e a interoperabilidade dos materiais, a abordagem também promove a colaboração acadêmica intercultural e facilita a inclusão em redes científicas globais.

Universalidade e Aplicabilidade

A metodologia proposta demonstra um elevado grau de universalidade, tornando-se aplicável a um amplo espectro de materiais — desde publicações acadêmicas e científicas até documentos literários, artísticos, profissionais e oficiais. É particularmente eficaz em contextos onde precisão, estrutura lógica e acessibilidade multilíngue são essenciais para manter a integridade e credibilidade da informação.

Esta abordagem estabelece um sistema unificado para gestão e apresentação de conteúdo textual, garantindo padronização de formatos, consistência estilística, numeração, tabelas, figuras e diagramas. Ao mesmo tempo, preserva a identidade cultural, nuances específicas de gênero e profundidade semântica da fonte original, prevenindo a perda de significado ou tom emocional que pode ocorrer durante a tradução ou adaptação. Esse equilíbrio entre unificação estrutural e diversidade cultural permite a criação de materiais globalmente compreensíveis, mas contextualmente autênticos.

A integração de multilinguismo, interatividade e padronização cria um arcabouço robusto para troca efetiva de conhecimento e comunicação. Por meio de ferramentas interativas — como glossários dinâmicos, referências cruzadas adaptativas e elementos visuais vinculados — os usuários podem acessar materiais em múltiplos idiomas sem comprometer a precisão ou legibilidade. Essa abordagem não apenas aumenta a eficiência na recuperação e interpretação da informação, mas também apoia a pesquisa interdisciplinar, a educação internacional e a colaboração criativa através de barreiras linguísticas e culturais.

Além disso, a universalidade da metodologia permite a integração de tipos heterogêneos de textos em um único ecossistema digital estruturado. Artigos acadêmicos, obras literárias, relatórios oficiais e anotações multimídia podem coexistir em uma plataforma interativa única, conectados por meio de metadados padronizados, indexação multilíngue e navegação cruzada. Isso proporciona aos usuários uma experiência coerente, intuitiva e inclusiva, independentemente de seu idioma ou área profissional.

Ao garantir compatibilidade com padrões internacionais de publicação e protocolos de metadados (por exemplo, DOI, ORCID, MARC, Dublin Core), a metodologia apoia a interoperabilidade com bases de dados científicas, repositórios institucionais e arquivos culturais, reforçando assim a preservação e acessibilidade de longo prazo do conteúdo.

Com base nesses princípios, são desenvolvidos diagramas interativos multilíngues para visualizar as interconexões entre idiomas, disciplinas e tipos de conteúdo. Esses diagramas podem ilustrar não apenas relações estruturais, mas

também paralelos semânticos e culturais dentro de um quadro informacional unificado, aumentando tanto a compreensão quanto o engajamento (Fig. 1).

Opção 1 – Curta:

x – nome do material / material name

[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

Opção 2 – Nome traduzido separadamente:

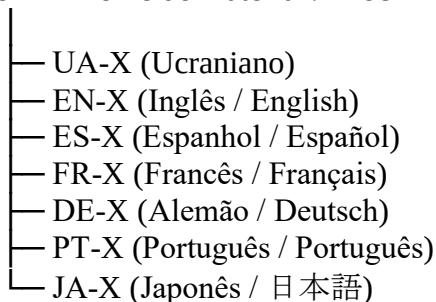
x – nome do material

x – material name

[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

Opção 3 – Esquema estendido com blocos:

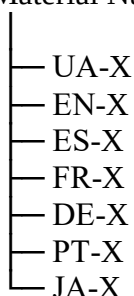
Bloco X – Nome do material / Block X – Material Name



Opção 4 – Esquema detalhado simplificado:

X – Nome do material

X – Material Name



Explicação:

- [UA-X], [EN-X] - links interativos para as versões linguísticas correspondentes.
- X — número do material, página ou bloco ordinal do conteúdo.
- Esta estrutura permite exibir qualquer material de forma universal, mantendo consistência e padronização.
- Adequada para artigos científicos, obras literárias e artísticas, documentos empresariais.

Fig. 1. Algoritmo da Estrutura Universal de Materiais

Fonte: desenvolvimento do autor.

O objetivo deste artigo é apresentar uma metodologia universal para a apresentação interativa e multilíngue de materiais textuais. A proposta abrange algoritmos para a criação de uma versão-base do texto e sua posterior tradução para outros idiomas, considerando a precisão semântica e a consistência terminológica, bem como mecanismos de navegação interativa entre versões linguísticas e blocos estruturais do material. O controle de qualidade é assegurado por meio de retrotradução, revisão especializada e padronização de formato.

Para a avaliação sistemática da eficácia dos materiais multilíngues, são propostos indicadores quantitativos. O índice de precisão semântica da tradução (St)

permite evitar a acumulação de erros de significado e medir a conformidade terminológica e fraseológica com padrões estabelecidos. Paralelamente, o índice de interatividade da navegação (In) avalia a facilidade de transição entre versões linguísticas e elementos estruturais do texto, aumentando o valor de uso do material.

A metodologia proposta demonstra sua aplicabilidade prática em diferentes tipos de publicações — séries científicas (InPlatforma), coletâneas literárias e artísticas (Luz na Alma) e documentos empresariais. O modelo assegura flexibilidade, padronização estrutural e formal, preservando a precisão semântica, a autenticidade cultural e a acessibilidade do conteúdo para todos os públicos, incluindo pessoas com deficiência visual que utilizam interfaces em Braille ou por VOZ.

A fundamentação da metodologia baseia-se em uma análise detalhada das características de navegação de textos em materiais científicos, empresariais e criativos, permitindo identificar indicadores-chave de estrutura e acessibilidade, bem como formar uma abordagem universal para a avaliação da interatividade e da qualidade da tradução em publicações multilíngues (Tabela 1).

1. Navegação para materiais científicos, empresariais e criativos

Nome / Named	UA	EN	FR	DE	ES	PT	JA
Seção 1 / Material X	x	x	x	x	x	x	x
Seção 2 / Material K	x	x	x	x	x	x	x
Seção 3 / Material G	x	x	x	x	x	x	x
...	...	...	...	...	...	...	...

Explicação:

- Cada linha corresponde a um material separado (científico, literário, artístico ou empresarial).
- As colunas UA, EN, FR, DE, ES, PT e JA representam os links para as respectivas versões linguísticas.
- A tabela demonstra a versatilidade e a interatividade do sistema de navegação aplicável a qualquer tipo de material, seja uma série de publicações científicas multilíngues e interativas, documentação administrativa ou coletâneas literárias e artísticas [1, 4, 10].

Fonte: elaboração do autor.

Nas publicações científicas, profissionais e culturais contemporâneas, a garantia da qualidade da tradução e da conveniência de navegação constitui um fator crítico. Essa questão é especialmente relevante em edições multilíngues, nas quais a precisão na transferência de significados e a estruturação adequada da informação influenciam diretamente a percepção e a eficácia comunicativa.

Para responder a esses desafios, propõe-se uma metodologia multilíngue interativa que combina uma abordagem sistemática de avaliação da tradução com a análise da interatividade de navegação, assegurando simultaneamente a inclusão de todas as categorias de usuários, incluindo pessoas com deficiência visual. Os materiais podem ser adaptados para o uso de tecnologias assistivas, como o sistema

Braille, leitores de tela ou interfaces auditivas, tornando-os acessíveis a indivíduos com baixa visão ou cegueira total.

A base para a avaliação da qualidade da tradução em textos multilíngues é o cálculo do coeficiente médio de precisão semântica, que impede a acumulação de erros de significado em publicações multilíngues (Fórmula 1):

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1)$$

Onde:

St - coeficiente médio de precisão semântica;

Ci - índice de precisão da tradução do i-ésimo termo ou expressão (1 - totalmente preciso; 0 - significado perdido);

n - número de termos ou expressões no texto.

Este indicador é utilizado para avaliar a qualidade da tradução e prevenir a acumulação de erros semânticos em uma publicação multilíngue.

Fonte: elaboração do autor.

O cálculo de St garante uma avaliação sistemática das traduções e permite determinar o grau de conformidade terminológica e fraseológica com os padrões estabelecidos. Com base nesse indicador, é possível não apenas identificar erros, mas também desenvolver estratégias corretivas destinadas a aprimorar a precisão da tradução em versões subsequentes do material.

Paralelamente, a avaliação da eficiência dos blocos de navegação assegura a interatividade e a usabilidade do texto. Para esse fim, determina-se a percentagem de interatividade do material (Fórmula 2):

$$I_n = \frac{B_a}{B_t} \quad (2)$$

Onde:

In - percentagem de interatividade (disponibilidade de botões ou símbolos de navegação);

Ba - número de blocos de navegação ativos;

Bt - número total de blocos no material.

Este indicador é utilizado para avaliar a facilidade de navegação entre versões linguísticas e blocos estruturais do texto.

Fonte: elaboração do autor.

Com base nesse coeficiente, avalia-se a conveniência da navegação entre versões linguísticas e elementos estruturais do texto. Um elevado nível de interatividade facilita a orientação do usuário, simplifica o acesso à informação e aumenta o valor global de uso do material.

A novidade do enfoque proposto reside no fato de que o cálculo tanto de St quanto de In pode ser igualmente aplicado a versões adaptadas de materiais desenvolvidos para usuários com deficiência visual. Por exemplo, na integração de sistemas Braille, interfaces de áudio ou ferramentas especializadas de navegação, torna-se possível avaliar:

- a precisão semântica da transferência de informação (S_i) em formatos acessíveis;
- a eficácia da navegação (I_n) entre blocos estruturais e versões linguísticas para todas as categorias de usuários.

Dessa forma, a combinação entre a precisão semântica da tradução, a interatividade dos blocos de navegação e a acessibilidade para pessoas com deficiência visual estabelece a base para o desenvolvimento de textos multilíngues precisos, estruturados, intuitivos e inclusivos. Essa abordagem abrangente amplia o valor científico, profissional e cultural das publicações, assegurando interatividade, acessibilidade e inclusão.

Além disso, a metodologia proposta possibilita a adaptação de materiais textuais a diversas plataformas e formatos editoriais, garantindo consistência de tradução, interatividade e acessibilidade em contextos multilíngues. Assim, o enfoque constitui uma ferramenta universal para a produção de conteúdos científicos, profissionais e culturais contemporâneos.

Discussão

A interatividade e o multilinguismo configuram-se hoje não apenas como ferramentas de tradução, mas como fundamentos conceituais para a estruturação de conteúdos em séries contemporâneas. Essa abordagem combina universalidade e padronização com a adaptação às especificidades de contextos científicos, profissionais e culturais, permitindo que cada versão linguística funcione como parte de um ecossistema informacional interativo, coerente e semanticamente preciso.

Destaca-se a acessibilidade para pessoas com deficiência visual, frequentemente negligenciada em modelos tradicionais. A metodologia multilíngue interativa integra navegação dinâmica, alternância entre idiomas, compatibilidade com leitores de tela, ajuste de fontes e orientação por voz, promovendo inclusão e eficiência comunicativa. Assim, estabelece-se um novo padrão de acessibilidade e inclusão nas publicações científicas, profissionais e artístico-culturais.

No domínio científico, a interatividade e o multilinguismo contribuem para:

- assegurar a precisão e a consistência terminológica, especialmente em pesquisas interdisciplinares;
- proporcionar acesso aos materiais à comunidade internacional em múltiplos idiomas, sem perda de significado nem de coerência lógica;
- favorecer a integração em bases de dados cientométricas globais (como Scopus, Web of Science, DOAJ), ampliando a visibilidade das publicações e promovendo o desenvolvimento de redes científicas transnacionais.

Nos setores empresarial e administrativo, o multilinguismo interativo assegura:

- transparência das comunicações, precisão jurídica e neutralidade estilística dos documentos;

- redução de mal-entendidos em corporações multinacionais e organizações internacionais;
- condições para parcerias internacionais eficazes, nas quais cada versão linguística possui equivalência informacional e validade jurídica.

No domínio cultural e artístico, o multilinguismo interativo atua como um mecanismo fundamental de diálogo intercultural, isto é, de comunicação estruturada entre diferentes comunidades linguísticas e culturais. Essa metodologia permite que textos artísticos, coletâneas literárias e projetos criativos superem as barreiras linguísticas, preservando ao mesmo tempo a integridade estilística do autor e a coerência estética da obra, mantendo o efeito artístico e a estrutura narrativa previstos em todas as versões linguísticas.

Como resultado, criam-se novos espaços culturais em que as obras ganham reconhecimento internacional, favorecendo a formação de um público global e promovendo a compreensão intercultural. Nesse contexto, o multilinguismo interativo deixa de ser apenas uma ferramenta de tradução para se tornar um arcabouço dinâmico de intercâmbio cultural.

A interatividade em ambientes digitais é implementada por meio de diversos mecanismos que ampliam a usabilidade, a compreensão e a acessibilidade:

- Blocos temáticos estruturados e organização hierárquica do conteúdo, com disposição sistemática e lógica dos materiais, orientando o usuário de forma coerente e facilitando atividades de pesquisa e de ensino;
- Alternância rápida de idiomas, que permite a transição fluida entre diferentes versões linguísticas do mesmo conteúdo, preservando a fidelidade semântica e oferecendo acesso ao material no idioma preferido do usuário;
- Elementos de navegação integrados (botões interativos, símbolos e hiperlinks), que possibilitam uma exploração eficiente do conteúdo e mantêm o contexto ao transitar entre seções;
- Compatibilidade com softwares de acessibilidade (como leitores de tela, dispositivos Braille e ferramentas de ampliação), garantindo que a plataforma seja inclusiva para usuários com deficiência visual ou outras necessidades de acessibilidade.

A língua principal da plataforma — geralmente o inglês — atua como padrão de referência para todas as traduções e cumpre três funções essenciais:

- Assegurar o controle de qualidade entre as versões multilíngues;
- Evitar a acumulação de erros de tradução;
- Manter a consistência semântica, preservando o significado do conteúdo em todos os idiomas.

Essa abordagem possibilita o desenvolvimento de bases de dados multilíngues, plataformas educacionais e recursos de comunicação concebidos para atender às

necessidades diversas de um amplo espectro de usuários — incluindo estudantes, pesquisadores, administradores públicos, gestores, profissionais da cultura e pessoas com deficiência. A integração de elementos interativos permite a combinação harmoniosa de conteúdos textuais, audiovisuais e multimídia, promovendo uma aquisição mais profunda do conhecimento, fortalecendo a comunicação intercultural e favorecendo o diálogo interdisciplinar em diferentes áreas de estudo e de prática profissional.

A combinação entre interatividade e multilinguismo amplia a flexibilidade, a adaptabilidade e a resiliência das plataformas digitais, permitindo que os usuários naveguem de forma fluida entre idiomas, seções temáticas e módulos de aprendizagem sem comprometer a estrutura lógica ou a integridade conceitual do material original. Isso garante que a informação permaneça precisa, acessível e culturalmente relevante em um ambiente educacional e científico globalizado, no qual o conhecimento deve ser comunicado de maneira eficaz entre diferentes contextos e públicos.

Além disso, as plataformas multilíngues e interativas oferecem oportunidades para o aprendizado adaptativo, permitindo que o conteúdo seja personalizado conforme o conhecimento prévio, o ritmo de aprendizagem e as necessidades profissionais ou acadêmicas do usuário. Essa personalização não apenas melhora os resultados e o engajamento no aprendizado, mas também estimula o pensamento crítico e as competências analíticas, à medida que os usuários interagem ativamente com o conteúdo em vez de apenas consumi-lo passivamente.

A abordagem multilíngue contribui significativamente para a inclusão no ambiente digital, garantindo acesso equitativo aos recursos para usuários com diferentes proficiências linguísticas, habilidades cognitivas e níveis de alfabetização digital. Ela promove o desenvolvimento da literacia digital, a adaptação social e a integração profissional de pessoas com deficiência, ao mesmo tempo em que abre novas oportunidades para ensino a distância, colaboração internacional e intercâmbio de conhecimento intercultural.

Além disso, as metodologias multilíngues interativas favorecem a criação de comunidades de prática, permitindo que os participantes compartilhem resultados de pesquisa, materiais de ensino e boas práticas. Esses ambientes colaborativos estimulam a cooperação interdisciplinar, aceleram a disseminação global do conhecimento e fortalecem iniciativas de inovação e desenvolvimento sustentável nos domínios científico, educacional e profissional.

Portanto, a metodologia multilíngue interativa surge como uma ferramenta universal e robusta para o desenvolvimento de conteúdos científicos, educacionais, profissionais e culturais contemporâneos. Ela combina coerência estrutural, precisão terminológica e adaptabilidade tecnológica com princípios de abertura,

acessibilidade e inclusão centrada no ser humano, estabelecendo um novo paradigma para a produção de conhecimento, aprendizagem e comunicação dentro do ecossistema digital global.

A relevância prática da implementação de metodologias multilíngues interativas é evidenciada pela sua ampla aplicação em diversos domínios, garantindo a obtenção de benefícios-chave e resultados concretos, alinhados a critérios de eficiência previamente estabelecidos (ver Tabela 2).

2. Aplicação comparativa da metodologia multilíngue interativa em diferentes áreas

Esfera	Principais vantagens	Problemas a serem resolvidos
Acadêmica (Scopus, WoS)	Aumenta a visibilidade e a citação; assegura precisão terminológica	Previne alterações semânticas; padroniza sistemas de referência
Literária e cultural	Promove o diálogo intercultural; amplia o público; preserva características estilísticas	Evita perda de contexto cultural na tradução
Profissional (negócios)	Garante clareza em contratos, relatórios e comunicações corporativas; conformidade com padrões	Elimina inconsistências terminológicas entre jurisdições
Oficial e jurídica	Assegura precisão jurídica, consistência administrativa e compatibilidade com normas globais	Minimiza riscos de interpretação equivocada em documentos críticos

Fontes: elaboração própria com base em [1-6, 9].

Esse quadro reforça que a interatividade não deve ser considerada apenas como um recurso técnico, mas também como uma ferramenta pedagógica e cultural, favorecendo engajamento, compreensão e retenção do conhecimento. Além disso, o suporte multilíngue ultrapassa a tradução literal, funcionando como uma ponte que conecta diferentes públicos, perspectivas e estruturas interpretativas. Dessa forma, a metodologia garante que o conhecimento e a expressão criativa sejam acessíveis, inclusivos e impactantes em fronteiras linguísticas e culturais.

Após a análise da implementação da metodologia multilíngue interativa em diversos domínios, torna-se essencial examinar mais detalhadamente os mecanismos práticos de interatividade e adaptabilidade, especialmente projetados para indivíduos com deficiência visual. Esses mecanismos não apenas geram valor funcional adicional, mas também ressaltam o caráter inovador e transformador da abordagem proposta.

Nas plataformas digitais, a interatividade é operacionalizada por meio de uma combinação sinérgica de blocos de conteúdo estruturados, componentes de navegação e interfaces de gestão de conteúdo. Tal integração facilita a orientação eficiente dentro de extensos conjuntos de material. Para indivíduos com deficiência

visual, esses elementos interativos possuem significado particular, funcionando como uma porta de acesso a informações que anteriormente permaneciam parcialmente ou totalmente inacessíveis.

Componentes fundamentais da interatividade com integração de acessibilidade

Blocos temáticos estruturados:

- O conteúdo é organizado de forma sistemática em seções coerentes, com títulos explícitos, permitindo que os usuários se orientem rapidamente dentro do ambiente textual.
- Cada seção incorpora metadados e etiquetas semânticas para garantir compatibilidade com tecnologias de leitura de tela, permitindo que usuários com deficiência visual transitem de forma eficaz entre diferentes segmentos do material.

Elementos de navegação:

- Hiperlinks e botões interativos possibilitam transições diretas entre versões linguísticas ou módulos temáticos, eliminando a necessidade de rolagem extensa.
- Símbolos e indicadores pictográficos são utilizados para a rápida identificação dos tipos de material (por exemplo, texto acadêmico, dados tabulares, representação gráfica ou recursos suplementares). Todos esses componentes são consistentemente acompanhados de alternativas textuais para tecnologias assistivas.

Adaptação a tecnologias assistivas e compensatórias:

- As plataformas são projetadas para total interoperabilidade com leitores de tela, softwares de ampliação e outras soluções assistivas.
- O quadro de design incorpora esquemas de cores de alto contraste e tipografia escalável dinamicamente, assegurando conforto perceptual para usuários com visão parcial.
- Representações tabulares e gráficas são sistematicamente complementadas com anotações textuais e camadas descritivas, que transmitem o conteúdo semântico dos dados visuais.

Orientação por voz e sinais auditivos:

- Os materiais principais podem ser complementados com narração em áudio das seções-chave, além de sinais de navegação que guiam os usuários ao longo do ambiente digital.
- Os mecanismos de interação por voz fornecem um canal alternativo de engajamento, permitindo a orientação dentro das sequências de materiais sem depender da percepção visual, ampliando significativamente a inclusão de usuários.

Idioma de referência e garantia de qualidade das traduções:

- O uso consistente de um idioma de referência designado (geralmente o inglês) assegura a preservação da coerência lógica, precisão terminológica e integridade semântica nas adaptações multilíngues.
- Essa prática é especialmente importante para indivíduos com deficiência visual, que dependem da estabilidade dos frameworks de navegação e da exatidão linguística para acessar e processar informações de forma eficaz.

Vantagens práticas da abordagem:

- **Inclusão:** Esta abordagem garante acesso equitativo a recursos científicos, profissionais, empresariais e artístico-culturais para indivíduos com deficiência visual. Ao incorporar mecanismos de acessibilidade diretamente no design central, pessoas que tradicionalmente enfrentam barreiras no acesso a conteúdos textuais, tabulares ou multimídia podem participar plenamente nos domínios acadêmico, profissional, empresarial e artístico. A metodologia promove inclusão social, criando uma plataforma na qual todos os usuários, independentemente de limitações sensoriais, têm igual oportunidade de interação com os materiais.
- **Eficiência:** O conteúdo estruturado em blocos temáticos claramente definidos, combinado com elementos de navegação interativos, permite que os usuários naveguem eficientemente por grandes volumes de informação. Isso reduz a carga cognitiva e o tempo de busca, permitindo que acadêmicos, profissionais e agentes culturais localizem, analisem e sintetizem informações relevantes de forma rápida e precisa. Para usuários com deficiência visual, indicadores interativos e elementos compatíveis com leitores de tela aumentam ainda mais a eficiência operacional em todos os tipos de conteúdo.
- **Universalidade:** Os princípios do multilinguismo interativo são aplicáveis a séries científicas, documentação profissional, materiais empresariais e projetos artístico-culturais. Essa universalidade assegura simultaneamente acessibilidade, precisão terminológica e coerência lógica. Independentemente de a plataforma apresentar pesquisas acadêmicas, relatórios profissionais, documentos empresariais, coletâneas literárias ou exposições multimídia, a metodologia garante consistência na entrega do conteúdo, acomodando diferentes necessidades linguísticas e sensoriais.
- **Inovação social:** Abordagens tradicionais de plataformas multilíngues raramente integram inclusão abrangente como recurso central. Consequentemente, o multilinguismo interativo representa um exemplo pioneiro de metodologia inclusiva totalmente integrada, preenchendo lacunas em sistemas existentes e estabelecendo um referencial para o design digital socialmente responsável nos contextos acadêmico, profissional, empresarial e cultural.

Interatividade em Diferentes Tipos de Materiais

Em projetos envolvendo materiais científicos, profissionais, empresariais e artístico-culturais, os elementos interativos desempenham funções práticas para melhorar a usabilidade e a acessibilidade do conteúdo:

- ***Alternância de idiomas fluida***: Os usuários podem transitar entre versões linguísticas sem perda de estilo, precisão ou nuances semânticas, preservando a voz do autor em obras literárias e a precisão terminológica em textos científicos, profissionais e empresariais.
- ***Acesso a materiais suplementares***: Links interativos fornecem definições de termos, glossários especializados ou informações contextuais, aumentando compreensão e engajamento, especialmente para usuários não nativos, pessoas com deficiência visual e aqueles com acesso limitado a recursos de referência.
- ***Sinais auditivos e textuais***: Narração e indicações textuais permitem que usuários com deficiência visual interajam eficazmente com qualquer tipo de material. Sistemas multimodais asseguram acesso equitativo à informação e promovem participação inclusiva e compreensão integral do conteúdo.
- ***Integração do diálogo intercultural e interdisciplinar***: Elementos interativos conectam materiais, anotações e recursos explicativos, mantendo a acessibilidade para um público internacional amplo. Essa abordagem favorece compreensão intercultural, colaboração científica e comunicação profissional, garantindo coerência lógica, inclusão e facilidade de navegação entre diferentes tipos de materiais.

Conclusões

O multilinguismo interativo, combinado com elementos de acessibilidade, estabelece um novo paradigma de comunicação universal. Ele assegura simultaneamente coerência estrutural, precisão terminológica, inclusão e funcionalidade amigável para diferentes grupos de usuários, incluindo pessoas com deficiência visual. Essa abordagem cria condições favoráveis para o desenvolvimento sustentável de séries científicas, profissionais e artístico-culturais no ambiente digital global, evidenciando tanto a novidade prática quanto a relevância social da metodologia multilíngue interativa.

A metodologia multilíngue interativa garante a consistência terminológica, semântica e estrutural entre todas as versões linguísticas de um texto [1, 2]. A tradução semântica, aliada a procedimentos rigorosos de controle de qualidade, como a retrotradução, assegura precisão, confiabilidade e credibilidade acadêmica [5, 8]. Esses mecanismos são fundamentais para prevenir desvios semânticos entre idiomas, especialmente em contextos onde a exatidão técnica e a integridade conceitual são essenciais.

Em termos práticos, a metodologia demonstra alta efetividade em diversos domínios:

- Publicações científicas: aumenta a visibilidade dos resultados de pesquisa, assegura a conformidade com sistemas internacionais de indexação (Scopus, Web of Science, DOAJ) e facilita a participação em debates acadêmicos globais.
- Projetos literários e artísticos: preserva a integridade estilística das obras e amplia o acesso a públicos internacionais, promovendo diálogo intercultural e reconhecimento de trabalhos criativos além das barreiras linguísticas.
- Documentação administrativa e empresarial: garante precisão jurídica, padronização terminológica e transparência nos processos decisórios em organizações multilíngues e multinacionais [4, 7].

Um componente igualmente importante desta metodologia é a sua dimensão interativa. A integração de símbolos interativos, botões de navegação, hiperlinks e marcação semântica permite aos usuários transitar de forma fluida entre idiomas e seções estruturais. Isso aumenta significativamente a acessibilidade e usabilidade, especialmente em ambientes digitais com grandes volumes de conteúdos acadêmicos, profissionais ou criativos [3, 9].

Sob a perspectiva do design inclusivo, a combinação de multilinguismo com navegação interativa amplia a acessibilidade para usuários com deficiência visual, garantindo compatibilidade com leitores de tela, softwares de conversão de texto em fala e ferramentas de exibição adaptativa.

Além das aplicações atuais, a metodologia apresenta potencial substancial para adaptação a outras séries e plataformas internacionais. Sua integração em infraestruturas de pesquisa globais — incluindo ORCID, Crossref, repositórios institucionais e sistemas de publicação em acesso aberto — pode garantir maior visibilidade e citabilidade sustentada das publicações em um contexto global.

A metodologia também está alinhada com padrões internacionais de acessibilidade, como WCAG 2.1 [11] e ISO 9241-171 [12], assegurando que o conteúdo produzido ou compartilhado siga princípios reconhecidos de design inclusivo. WCAG 2.1 fornece diretrizes detalhadas para tornar materiais web acessíveis a pessoas com deficiências visuais, auditivas, cognitivas ou motoras, enquanto ISO 9241-171 foca em princípios ergonômicos para acessibilidade de software, ampliando a usabilidade para um público mais amplo.

No futuro, o multilinguismo interativo pode evoluir com a incorporação de tradução assistida por inteligência artificial, bases de dados multilíngues adaptativas e ferramentas automatizadas de verificação semântica. Essas inovações não apenas acelerarão a tradução e disseminação de materiais, como também preservarão a

precisão semântica e a sensibilidade cultural necessárias na comunicação acadêmica, jurídica e artística.

Em conclusão, o multilinguismo interativo com suporte à acessibilidade não deve ser encarado apenas como inovação técnica, mas como um quadro conceitual e metodológico que transforma a interação entre conhecimento, cultura e governança. Ao combinar precisão e inclusão, especificidade local e conectividade global, a metodologia oferece os fundamentos para sistemas de comunicação sustentáveis e universalmente acessíveis, com potencial transformador em ciência, negócios e cultura, consolidando-se como pilar das práticas contemporâneas de comunicação digital.

Referências

1. Hnatiuk, I. (2017). Comunicação científica multilíngue: teoria e prática. Kyiv: Kyiv University Press.
2. Smith, J., & Johnson, R. (2021). Tradução semântica na publicação científica. *International Journal of Translation Studies*, 14(2), 101–119.
3. Garcia, I., Pérez, L., & Torres, M. (2020). Plataformas digitais multilíngues: navegação interativa e experiência do usuário. *Journal of Multilingual Communication*, 12(3), 45–62.
4. Melnyk, O. (2021). Padronização terminológica em documentos multilíngues. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv.
5. Baker, M. (2018). *In other words: A coursebook on translation* (3rd ed.). Routledge.
6. Cronin, M. (2017). Tradução e globalização. Routledge.
7. StateGeoCadastre (2018). Padrões de trabalho administrativo e documentos multilíngues. Kyiv: State Land Cadastre.
8. Gile, D. (2009). Conceitos básicos e modelos para formação de intérpretes e tradutores. John Benjamins Publishing.
9. Shevchenko, T. (2019). Plataformas interativas e experiência do usuário. Kharkiv: KHNU.
10. Kovalenko, L. (2020). Traduções literárias e artísticas: metodologia e prática. Kyiv: Naukova Dumka.
11. W3C. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
12. ISO 9241-171:2008. Ergonomia da interação humano-sistema — Parte 171: Diretrizes de acessibilidade de software.

[JA_1]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

インタラクティブテキストの方法論と多言語対応

要旨

インタラクティブな多言語テキスト提示の方法論は、学術論文やモノグラフから文学芸術集、ビジネスおよび公的文書に至るまで、多様な資料の作成・調整・普及を可能にする汎用的な枠組みとして位置づけられる。その独自性は、「言語的普遍性」と「インタラクティブ・ナビゲーション」という二つの相互に関連する要素を統合する点にある。この方法により、異なる学派、文化的伝統、行政的環境の壁を越え、情報提示のための統一かつ構造化されたプラットフォームを形成することができる。

本方法論の中心原理は、翻訳体系全体の基準点となる「基準言語（ベース・ランゲージ）」の設定である。一般的には、国際的な科学・教育・ビジネス交流においてリンガ・フランカとして機能する英語が採用される。しかし、英語に限定されるものではなく、ウクライナ語、フランス語、ドイツ語、日本語など、任意の言語で原文を作成することも可能である。英語以外の原文は英語に翻訳され、同時に内容を拡充・精緻化し、包括的な基準版として確立される。この基準版が他のすべての翻訳の唯一の出発点となり、意味的正確性、用語の一貫性、論理的整合性を保証する。

品質管理は多層的に行われる。第一に、原文と翻訳文の意味的乖離を検出するためのバックトランスレーション（逆翻訳）を採用する。第二に、専門言語学者およびネイティブスピーカーによる文体的・文化的適応を行う。第三に、形式標準化を適用し、タイトル、番号体系、注記、参考文献の構造を統一する。これらの手順により、統合的な資料は Scopus, Web of Science, DOAJ などの国際学術データベース、さらには多言語ビジネス・法務・文化プラットフォームに円滑に組み込むことが可能となる。

本稿では、基準言語構築の原理、翻訳と調和化のアルゴリズム、インタラクティブなブロック図およびナビゲーション表の設計を提示する。事例として、学術シリーズ「InPlatforma」および文学芸術シリーズ「Light in the Soul（魂の光）」を検討する。この方法論の普遍性は、学術・芸術領域のみならず、ビジネスや行政文書にも応用できる点にある。多言語性、インタラクティブ性、標準化の組合せは、情報の効果的な活用に必要な可能性を開く。

したがって、インタラクティブ多言語提示の方法論は、標準化と柔軟性、科学的精密さと文化的多様性、地域性と国際基準を統合する戦略的意義を有する。その実践は、学術研究の発展のみならず、芸術的・ビジネス的活動の国際情報空間への展開にも寄与する。

キーワード: 多言語出版、インタラクティブ・ナビゲーション、基準言語、意味翻訳、学術・芸術シリーズ、ビジネス文書、バージョン調和化、国際標準、Scopus、Web of Science、DOAJ、文化適応、逆翻訳。

序論

現代の学術的・専門的・文化的出版物において、重要な課題の一つは、高品質な翻訳、利便性の高いナビゲーション、および資料の普遍的アクセス性を確保することである。特に多言語版の出版においては、意味的正確さ、構造的提示、そしてすべての利用者層への包摂性が、コミュニケーションの有効性と研究成果の国際的可視性を左右する。

本稿で提示するインタラクティブ多言語方法論は、通常視覚を持つ利用者のみならず、視覚障害者や全盲者にもアクセス可能であり、点字表示や音声インターフェースなどの**支援技術（assistive technologies）**を活用できるよう設計されている。このアプローチは、ユニバーサルデザインの理念と学術的・専門的コミュニケーションの要件を統合し、**包摂性（inclusivity）**を高い水準で実現するものである。

本方法論の学術的新規性は、以下の三つの相互関連する要素の統合にある。

- 翻訳の意味的正確性を検証し、意味の歪みや蓄積的誤差を防止する評価手法。
- ナビゲーション・ブロックのインタラクティブ性により、資料の可用性と適応性を強化する機構。
- 視覚障害者対応のアクセシビリティを確保するための特化フォーマットと支援技術の導入。

現代の学術・文化・ビジネスコミュニケーションは、多言語資源なしには成立しない。グローバルな情報交換は、異なる国、学派、文化的伝統、行政体系に属する人々の相互作用を前提とするためである。

学術出版においては、多言語化が Scopus, Web of Science, DOAJ などの索引データベースでの研究成果の可視性を高め、関連する成果や方法論へのアクセスを拡大する [1,2]。文学・芸術分野では、異文化対話と作品の国際的普及を促進し [3,4]、ビジネスや行政文書の領域では、法的・標準的整合性を確保し、国際協力の円滑化に資する。

本稿の目的は、次の要素を含む包括的なインタラクティブ多言語提示の方法論を提示することである。

- 基準版テキストの生成および意味的正確性・用語一貫性を維持した多言語翻訳アルゴリズム。
- 学術文書、法的文書、文学作品など、テキスト種類ごとに特有の表記規範・文体慣習・専門用語が存在し、これらから逸脱すると文章の明瞭性・信頼性・学術的価値が低下する可能性がある [4,7]。
- 逆翻訳・専門家レビュー・形式標準化による品質管理手法。
- 点字システムや音声インターフェースなどの支援技術を統合した視覚障害者向け適応手法。

以上のように、インタラクティブ多言語方法論は、意味の精密さ・構造の明晰さ・アクセスの容易さ・包摂性を兼ね備えた、学術・文化・専門出版のための普遍的ツールとして機能する。

インタラクティブ多言語主義の理論的基盤

問題の所在

現代のグローバル・コミュニケーションおよび科学・文化・ビジネスの国際化においては、異なる言語を話す人々や多様な文化的共同体の代表者が容易に理解し利用できる資料の整備が不可欠である。

しかし、多言語資料にはその品質と有効性に影響を及ぼすいくつかの重要な課題が存在する。

1. 逐次翻訳による誤差の蓄積

原文から複数の言語に段階的に翻訳を行う過程で、微細な誤訳や意味のずれが蓄積し、特に科学技術文献においては原意の変質を引き起こす可能性がある [5]。

2. 意味的・論理的一貫性の喪失

各翻訳段階で文構造や語順が変化し、意味の焦点が移動することにより、文章全体の論理的連続性や概念の明確性が損なわれる [6]。その結果、本文が断片化し、主要な概念が歪曲される危険がある。

3. 文体・形式・用語の不整合

学術文書、法的文書、文学作品など、テキスト種類ごとに特有の表記規範・文体慣習・専門用語が存在し、これらから逸脱すると文章の明瞭性・信頼性・学術的価値が低下するおそれがある [4,7]。

このような課題を克服するためには、翻訳精度の検証、意味構造の整合化、形式の標準化を統合的に行う新たなインタラクティブ多言語提示の方法論が求められている。

解決へのアプローチ

前節で指摘した課題に対処するため、本研究では言語的普遍性・意味的精密さ・インタラクティブ技術を統合した包括的な方法論を提案する。

1. 基準言語

すべての翻訳の中心的参照点として、通常は英語を基準言語とする。これにより、用語の一貫性が確保され、他言語への翻訳時における意味の歪曲や累積的誤差を最小化できる。

2. 意味翻訳

語彙的対応にとどまらず、原文の論理構造および概念的関係を保持する翻訳手法であり [2]、テキスト全体の意味的整合性を維持しつつ、文化的差異にも柔軟に対応できる。

3. 品質管理

翻訳の正確性と文化的適応を保証するため、逆翻訳 (back-translation)、言語学者およびネイティブ専門家による査読、および形式的・構造的な一貫性の検証を実施する [1,8]。これにより、文体・文化・形式のすべての側面で高品質を確保する。

4. インタラクティブ・ナビゲーション

ボタン、記号、ハイパーリンクを活用し、利用者が言語版や構造ブロック間を容易に切り替えられるよう設計することで、**アクセシビリティと利用体験 (user experience) **を大幅に向上させる [3,9]。

インタラクティブ多言語資料作成のアルゴリズム

学術テキストの場合

1. 基準版の作成

原資料を英語に翻訳し、用語の明確化・補足解説の追加・構造の最適化を行うことで、以後の翻訳のための標準的基盤を形成する。

2. 他言語への翻訳

すべての翻訳は英語の基準版から直接実施され、意味的正確性と用語の一貫性を維持する。多段階翻訳による誤差の蓄積を防止し、内容の信頼性を確保する。

3. インタラクティブ・ナビゲーション

利用可能な言語版を示す記号やボタンを設置し、読者が直感的に言語間を切り替えられるようにする。これにより、可読性と利用体験（user experience）が向上する。

4 品質管理

逆翻訳（back-translation）および専門家による査読を通じて、誤訳や意味の歪みを最小化し、文化的・文体的整合性を保証する [8]。

このプロセスにより、学術的多言語資料は高精度・高信頼・高可用性を備えて構築され、国際的学術データベースへの統合が容易になる。

文学・芸術テキストの場合

1. 原文の作成

ウクライナ語またはその他の母語で創作された文学・芸術作品を基礎とし、言語的独自性と文化的背景を保持しつつ、創作意図を明確に表現する。

2. 翻訳プロセス

英語、フランス語、ドイツ語、イタリア語、スペイン語など主要言語へ直接翻訳を行い、文体的特徴と文化的ニュアンスを考慮して調整する。これにより、多文化的受容性と芸術的一貫性を確保する。

3. インタラクティブ・ナビゲーション

ボタンまたはリンクにより、読者は言語版やテキスト部分を即時に切り替え可能となり、動的かつ多層的な読書体験を実現する。

4. 書式とレイアウト

一段または二段構成のレイアウトを採用し、プラットフォームや閲覧形式に応じて柔軟に最適化する [10]。視覚的調和と可読性を両立させることを目的とする。

ビジネスおよび公的文書の場合

1. 基礎版の作成

原資料を国際的な書式基準（番号体系、見出し、参考文献様式など）に準拠して英語版へ翻訳・整形する。これにより、国際的な互換性と専門的信頼性を確保する。

2. 多言語翻訳

英語基準版から直接翻訳を行い、各国・地域の法的・行政的・専門的要件を考慮して調整し、翻訳過程で意味の一貫性と制度的正確性を維持する。

3. インタラクティブ・ナビゲーション

ボタンまたはシンボルにより、利用者は異なる言語版間を迅速に切り替え可能となり、業務・行政分野での実用性と効率性を高める。

4. 書式の標準化

国際規格および企業ガバナンス方針に準拠した書式統一を実施し、信頼性と透明性を確保する [4, 7]。

実践的応用

- 「インプラットフォーム（InPlatforma）」シリーズ：

学術資料を多言語プラットフォームに統合し、インタラクティブ表やナビゲーションボタンを導入することで、利用者のアクセシビリティと操作性を向上させる。

- 「魂の光（Light in the Soul）」シリーズ：

文学・芸術作品を多言語閲覧向けに最適化し、ヘッダー・フッター・コンテンツ切替ボタンなどを備え、文化的多様性に対応する。

- ビジネス文書：

標準化された英語版を翻訳の基礎として用い、インタラクティブ・ナビゲーションにより国際利用者のアクセスを容易にする。

この体系的手法は、意味的精度と文体的一貫性を確保するとともに、資料をグローバルな読者層に開放するものである。

さらに、普遍性・相互作用性・標準化を兼ね備えることで、学術・芸術・実務の各分野における多言語資料の効率性・実用性・到達範囲を大幅に高める。

アプローチの利点と革新性

インタラクティブ多言語方法論は、科学的精度・文化的適応・技術的統合を一体化した包括的システムである。

本アプローチは、学術出版物や研究論文から文学作品、専門文書に至るまで、あらゆる種類のテキスト資料に適用可能であり、内容の質とアクセシビリティを多様な言語・文化環境において向上させる。

さらに、この方法論は、意味的正確性の保持、文体と文化の整合性、インタラクティブ機能の実装を同時に実現する点で革新的である。

結果として、資料の国際的可視性と多言語利用の効率性が大幅に向上し、学術・芸術・実務の各領域での情報流通と理解を促進する。

内容および用語の一貫性

- 基準言語の利用

すべての翻訳の中心標準として基準言語を設定することで、逐次翻訳に伴う誤差の蓄積や「伝言ゲーム」効果を防止する。

- 意味翻訳

論理的一貫性、概念的整合性、意味を各言語版で保持し、主要用語・学術概念・文化的ニュアンスを国際的文脈でも正確に伝達可能とする。

- 精度と信頼性の向上

本方法論は、学術・専門・芸術資料の正確性と信頼性を大幅に高め、特に科学計量データベース、国際ジャーナル、文学シリーズへの掲載において重要である [1,2]。

- 文体・書式・構造の一貫性

資料の専門的整理と、国際・地域両面での利用準備を保証する。

- 概念的精度の維持

言語間で概念の正確性を保持することで、誤解のリスクを最小化し、法務・科学・企業コミュニケーションにおいて極めて重要な役割を果たす。

インタラクティブ・ナビゲーション

- インタラクティブ要素の統合

ボタン、記号、ハイパーリンクなどの要素を組み込むことで、利用者は異なる言語版や資料の構造ブロック間をシームレスに切り替え可能となる。

- 利用体験とアクセシビリティの向上

研究者、学生、専門家は、必要なセクションを希望の言語で迅速に参照でき、学習・研究・実務活動の効率が高まる [3,9]。

- 論理的構造と学習支援

インタラクティブ・ナビゲーションは資料の論理的整理を支援し、多言語コンテンツ配信の直感的デジタルプラットフォーム構築にも寄与する。

可視性向上と引用可能性

- 国際的データベースへの統合

多言語構造、標準化された書式、国際的メタデータ規格の遵守により、資料はScopus、Web of Science、DOAJなどの国際科学計量データベースに容易に統合可能である。これにより、学術・専門コミュニ

ティ全体での広範な可視性が確保され、引用可能性が向上するとともに、文献参照の追跡性や長期的なアクセス可能性・相互運用性も担保される。国際的な索引基準を満たすことで、内容の学術的認知度と影響力が大幅に強化される。

- 国際出版・教育・企業プラットフォームへの適応

本方法論は国際的文学出版、教育用プラットフォーム、企業システムへの適用も容易であり、グローバルな読者層へのリーチ拡大と効率的な情報配信を実現する。

- 学際的・国際的協働の促進

資料の追跡性と相互運用性の向上により、異文化間の学術協力が促進され、国際的な研究ネットワークへの組み込みが容易になる。

普遍性と適用性

提案方法論は高い普遍性を持ち、学術・科学出版物から文学・芸術作品、専門・公的文書まで幅広く適用可能であり、特に精度・論理構造・多言語アクセスが情報の整合性と信頼性に不可欠な場合に有効である。

本アプローチは、テキスト内容の管理・提示を統一的に行うシステムを構築し、書式の標準化、文体的一貫性、番号付け、表・図・図解の整合性を保証する。同時に、原資料の文化的アイデンティティ、ジャンル固有のニュアンス、意味的深みを保持し、翻訳や適応過程で生じる意味や感情の喪失を防ぐ。構造的統一と文化的多様性のバランスにより、国際的に理解可能かつ文脈的に忠実な資料を作成できる。

多言語性、インタラクティブ性、標準化を統合することで、効果的な知識交換とコミュニケーションの枠組みが構築される。動的用語集、適応型相互参照、リンク付き視覚要素などのインタラクティブツールにより、利用者は複数言語で資料にアクセスしつつ、正確性と可読性を損なわない。これにより、情報検索・解釈の効率が向上し、学際研究、国際教育、文化・言語を超えた創造的協働も支援される。

さらに、本方法論の普遍性により、異種テキストを単一の構造化デジタル環境に統合できる。学術論文、文学作品、公的報告、マルチメディア注釈が一つのインタラクティブプラットフォーム上で共存し、標準化されたメタデータ、多言語索引、相互参照ナビゲーションによって接続される。これにより、言語的背景や専門分野に関わらず、利用者に一貫性・直感性・包括性のある体験を提供できる。

国際出版基準やメタデータ規格（DOI、ORCID、MARC、Dublin Coreなど）に準拠することで、科学データベース、機関リポジトリ、文化アーカイブとの相互運用性が向上し、資料の長期保存とアクセス性が確保される。

これらの原則に基づき、多言語インタラクティブ図が作成され、言語、学問分野、コンテンツ種別間の相互関係を可視化する。この図は、構造的関係だけでなく、統一情報フレームワーク内での意味的・文化的対応関係も示すことができ、理解度と利用者の関与度を高める（図1）。

オプション 1

x – マテリアル名 / Material Name

[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

オプション 2

x – マテリアル名

x – Material Name

[UA-x], [EN-x], [ES-x], [FR-x], [DE-x], [PT-x], [JA-x]

オプション 3

ブロック X – マテリアル名 / Block X – Material Name

— UA-X (ウクライナ語)

— EN-X (英語 / English)

— ES-X (スペイン語 / Español)

— FR-X (フランス語 / Français)

— DE-X (ドイツ語 / Deutsch)

— PT-X (ポルトガル語 / Português)

— JA-X (日本語 / 日本語)

オプション 4

X – マテリアル名

X – Material Name

— UA-X

— EN-X

— ES-X

— FR-X

— DE-X

— PT-X

— JA-X

解説:

- [UA-X], [EN-X] は対応する言語版へのインタラクティブリンク。
- X はマテリアル番号、ページ番号、または順序ブロック番号を示す。
- この構造により、一貫性と標準化を保ちながら任意のマテリアルを表示可能。
- 学術論文、文学・芸術作品、ビジネス文書などに適用可能。

Fig. 1. マテリアル構造のユニバーサルアルゴリズム

出典: 著者作成

本稿の目的は、テキスト資料のインタラクティブ多言語提示に関する普遍的な手法を提示することである。本手法は、テキストの基礎版作成およ

び他言語への翻訳アルゴリズム、意味の正確性と用語の一貫性を考慮した翻訳、さらに言語版および資料の構造ブロック間のインタラクティブ・ナビゲーションの仕組みを含む。品質管理は、逆翻訳、専門家によるレビュー、フォーマットの標準化により保証される。

多言語資料の有効性を体系的に評価するため、定量指標が提案される。翻訳の意味精度 (St) は意味の誤差蓄積を防ぎ、用語や表現の標準適合性を評価する。一方、ナビゲーションブロックのインタラクティビティ (In) は、言語版および構造要素間の移動の容易性を示し、資料全体のユーザー価値を向上させる。

提案手法は、科学シリーズ（「InPlatform」）、文学・芸術コレクション（「Light in the Soul」）、業務文書など、様々な出版物への応用を示す。これにより、柔軟性、構造・フォーマットの標準化、意味の正確性、文化的忠実性、視覚障害者向けアクセシビリティ（点字・音声インターフェース対応）を維持しつつ、多言語資料の効率的利用が可能となる。

本手法の根拠は、科学、業務、創作資料におけるテキストのナビゲーション特性の詳細分析に基づく。これにより、構造とアクセス性の主要指標を特定し、多言語出版物におけるインタラクティビティおよび翻訳品質評価の普遍的な手法を形成できる（表1）。

1. 科学・業務・創作資料のナビゲーション

名称 / Named	UA	EN	FR	DE	ES	PT	JA
第1章 / Material X	X	X	X	X	X	X	X
第2章 / Material K	X	X	X	X	X	X	X
第3章 / Material G	X	X	X	X	X	X	X
...	...	...	...	...	...	...	...

解説:

- 各行は個別の資料（科学、文学・芸術、業務）を表す。
- UA、EN、FR、DE、ES、PT、JA の列は各言語版へのリンクを示す。
- この表は、科学的インタラクティブ多言語出版物、業務文書、文学・芸術コレクションなど、いかなる資料にも適用可能なナビゲーションの汎用性とインタラクティビティを示す[1, 4, 10]。

出典: 著者作成

現代の科学・専門・文化出版物において、翻訳の品質および資料のナビゲーションの利便性を確保することは極めて重要である。これは特に多言語版において、意味の正確な伝達と情報の体系的提示が、理解度およびコミュニケーション効率に直接影響する場合に当てはまる。この課題に対応するため、インタラクティブ多言語手法が提案されており、翻訳評価の体系的アプローチとナビゲーションのインタラクティビティ評価を統合し

つつ、視覚障害者を含む全ての利用者へのインクルーシブ性を確保する。資料は点字、スクリーンリーダー、音声インターフェースなどの支援技術に対応可能に適応され、低視力者や全盲者も利用できる。

多言語テキストにおける翻訳品質評価の基礎は、意味精度の平均係数 (S_t) の算出にある。これにより、多言語出版物での意味誤差の蓄積を防ぐことができる（式1）。

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1)$$

説明:

S_t - 意味精度の平均係数

C_i - i 番目の用語またはフレーズの翻訳精度スコア（1＝完全に正確、0＝意味消失）

n - テキスト中の用語またはフレーズ数

翻訳の品質を評価し、多言語出版物における意味上の誤りの蓄積を防ぐために使用される。

出典: 著者作成

この係数は、翻訳品質を評価し、多言語出版物における意味誤差の蓄積を防ぐために用いられる。（ S_t ）の算出により翻訳を体系的に評価でき、用語および表現の標準適合性を確認し、誤りの検出や次版に向けた翻訳精度改善策の策定が可能となる。

同時に、ナビゲーションブロック効率の評価はテキストのインタラクティビティと使いやすさを保証する。資料のインタラクティビティ度は次式により算出される（式2）。

$$I_n = \frac{B_a}{B_t} \quad (2)$$

説明:

I_n - インタラクティビティ度（ナビゲーション用ボタンや記号の有効性）

B_a — アクティブなナビゲーションブロック数

B_t — 資料内のブロック総数

この指標により、言語版および構造要素間のナビゲーションの容易性を評価することができる。高いインタラクティビティは利用者の方向付けを容易にし、情報アクセスを簡便化し、資料全体のユーザー価値を向上させる。

出典: 著者作成.

この指標に基づき、言語版およびテキスト構造要素間のナビゲーションの利便性が評価される。高いインタラクティビティは利用者の方向付けを容易にし、情報アクセスを簡便化し、資料全体のユーザー価値を向上させる。

提案手法の新規性は、*St* および *In* の算出が、視覚障害者向けに適応された資料にも適用可能である点にある。点字、音声インターフェース、または専用ナビゲーションツールを統合した場合、次を評価できる：

- アクセシブル形式における情報伝達の意味精度 (*St*)
- すべての利用者カテゴリーに対する構造ブロックおよび言語版間のナビゲーション効率 (*In*)

このように、意味精度の保持、ナビゲーションブロックのインタラクティビティ、視覚障害者へのアクセシビリティを組み合わせることで、正確かつ構造化され、使いやすくインクルーシブな多言語テキストの開発基盤が構築される。この包括的手法は、インタラクティビティ、アクセシビリティ、インクルーシブ性を保証することで、学術的、専門的、文化的価値を高める。

さらに、本手法はテキスト資料の多様なプラットフォームや出版フォーマットへの適応を可能にし、多言語環境における翻訳の一貫性、インタラクティビティ、およびアクセシビリティを確保する。これにより、現代の科学的、専門的、文化的コンテンツのための普遍的ツールとなる。

ディスカッション

現代のインタラクティビティと多言語性は、単なる翻訳技術にとどまらず、コンテンツ構造化の概念的原則として注目されている。これらのシリーズは、科学的・専門的・行政的・文化芸術的文脈に対応しつつ、普遍性と標準化を兼ね備えている。本手法により、各言語版は単独の複製ではなく、インタラクティブ情報エコシステムの一部として機能し、論理的・一貫性、用語整合性、意味の正確性を確保できる。

特に重要な側面は、従来の多言語コンテンツ手法ではほとんど考慮されていなかった、視覚障害者向け資料のアクセシビリティである。提案するインタラクティブ多言語手法は、ナビゲーション要素の活用、言語版やテーマモジュール間の迅速な切り替え、スクリーンリーダー対応、フォント拡大、音声ガイダンス、構造化されたコンテンツ論理など、基本的でありながら極めて重要な機能を組み込んでいる。この手法により、アクセシビリティが向上するだけでなく、学術・専門・文化芸術シリーズにおける新たなインクルーシブ性の基準が確立される。

インタラクティビティと多言語性は以下に寄与する：

- 特に学際的研究における用語の正確性と一貫性の確保
- 意味や論理構造を損なうことなく、国際コミュニティが複数言語で資料にアクセス可能にすること

- グローバルな科学計量データベース（例：Scopus、Web of Science、DOAJ）への統合により、出版物の可視性を向上させ、国際的な科学ネットワークの発展を促進すること

インタラクティブ多言語性は以下を保証する：

- コミュニケーションの透明性、文書の法的正確性、文体的中立性
- 多国籍企業や国際機関における誤解の減少
- 各言語版が同等の情動的・法的効力を持つ国際的パートナーシップの構築条件の整備

インタラクティブ多言語性は、異なる言語・文化コミュニティ間の**構造化された交流（異文化対話）**の主要な手段として機能する。この方法論により、芸術作品、文学コレクション、創作プロジェクトは、言語の壁を越えつつ、作者の文体的整合性や作品の美的統一性（意図された芸術効果や物語構造の保持）を維持できる。その結果、創作物が国際的に認知される新たな文化空間が創出され、グローバルな観客の獲得や異文化理解の促進につながる。この文脈において、インタラクティブ多言語性は単なる翻訳手段ではなく、文化交流のための動的枠組みとして機能する。

インタラクティブ性は、利用性、理解度、アクセシビリティを向上させる複数のメカニズムを通じて実現される：

- 構造化されたテーマブロックと階層的コンテンツ構成：資料を論理的に配列された単位に体系化することで、利用者が整合性のある順序で内容を理解でき、研究や教育活動を円滑に進められる。
- 迅速な言語切替：同一コンテンツの複数言語版間をシームレスに切り替え可能にし、意味の忠実性を保持しつつ、利用者が希望する言語でアクセスできる。
- 統合ナビゲーション要素（インタラクティブボタン、記号、ハイパーリンク）：コンテンツの効率的な探索を可能にし、セクション間の移動時も文脈を維持する。
- アクセシビリティソフトとの互換性（スクリーンリーダー、点字表示器、拡大ツールなど）：視覚障害者やその他のアクセシビリティ要件を持つ利用者に対して包括的な利用環境を提供する。

プラットフォームの基準言語（多くの場合は英語）は、全翻訳版における参照標準として機能し、以下の重要な役割を果たす：

- 多言語版全体の品質管理の確保
- 翻訳誤差の蓄積防止
- 意味的一貫性の維持（各言語間での内容の意味保持）

この手法により、学生、研究者、公務員、マネージャー、文化専門家、障害者など、多様な利用者のニーズに対応した多言語データベース、教育プラットフォーム、コミュニケーション資源の構築が可能となる。インタラクティブ要素の統合により、テキスト、視聴覚、マルチメディアコンテンツをシームレスに組み合わせることができ、知識習得の深化、異文化間コミュニケーションの促進、さまざまな学問分野や専門職における学際的対話の支援が可能となる。

インタラクティビティと多言語性の組み合わせは、デジタルプラットフォームの柔軟性、適応性、回復力を高める。利用者は言語、テーマセクション、学習モジュール間をスムーズに移動でき、原資料の論理構造や概念的整合性を損なうことなくナビゲートできる。これにより、グローバル化した教育・科学環境において、情報が正確でアクセス可能かつ文化的に適切に伝達されることが保証される。

さらに、多言語・インタラクティブなプラットフォームは適応学習（アダプティブラーニング）の機会を提供し、利用者の事前知識、学習ペース、専門的・学術的要件に応じてコンテンツを個別化できる。この個別化により、学習成果とエンゲージメントの向上が期待できるだけでなく、利用者が受動的に情報を受け取るのではなく、積極的にコンテンツと対話することで、批判的思考力や分析能力の育成も促進される。

また、多言語アプローチはデジタル環境におけるインクルーシブ性の向上に大きく寄与し、異なる言語能力、認知能力、デジタルリテラシーのレベルを持つ利用者に公平なアクセスを保障する。これにより、デジタルリテラシーの向上、社会的適応、障害者の専門職への統合が支援されるとともに、遠隔学習、国際協力、異文化間の知識交換の新たな機会が創出される。

さらに、インタラクティブ多言語手法は実践コミュニティの構築を促進し、参加者が研究成果、教育資料、ベストプラクティスを共有できる環境を提供する。このような協働的環境は、学際的協力を促進し、知識の国際的普及を加速させ、科学、教育、専門分野におけるイノベーションおよび持続可能な開発の取り組みを強化する。

したがって、インタラクティブ多言語手法は、現代の科学的、教育的、専門的、文化的コンテンツの開発における普遍的かつ強力なツールとして位置づけられる。構造的ー貫性、用語精度、技術的適応性を、開放性、アクセシビリティ、人間中心のインクルーシブ性と組み合わせることで、

グローバルなデジタルエコシステムにおける知識創造、学習、コミュニケーションの新たなパラダイムを確立する。

インタラクティブ多言語手法の実践的意義は、さまざまな分野での幅広い適用により、既存の効率基準に沿った主要な利点と具体的成果の達成を可能にする点にある（表2参照）。

2. 分野別インタラクティブ多言語手法の比較適用

分野	主な利点	解決すべき課題
学術（Scopus, WoS）	可視性と被引用数の向上、用語精度の確保	意味の変化防止、参照体系の標準化
文学・文化	異文化間対話の促進、読者層拡大、文体特徴の保持	翻訳時の文化的文脈の損失回避
専門（ビジネス）	契約書・報告書・社内文書の明確化、規範遵守	法域間での用語不整合の排除
公的・法務	法的正確性、行政的一貫性、国際規格適合	重要文書における誤解リスクの最小化

出典：筆者作成、[1-6,9]に基づく。

さらに、本手法は、インタラクティブ性を単なる技術的機能としてではなく、学習・理解・知識保持を支援する教育的・文化的手段として位置づけることが重要である。また、多言語対応は文字通りの翻訳を超え、異なる観点や解釈フレームをつなぐ架け橋として機能する。この方法論により、知識や創造的表現は言語・文化の壁を越えてアクセス可能で、インクルーシブかつ高い影響力を持つものとなる。

多様な分野におけるインタラクティブ多言語手法の実装を分析した後、特に視覚障害者向けに設計されたインタラクティブ性および適応性の実践的メカニズムを詳細に検討することが重要となる。これらのメカニズムは追加的な機能的価値を生み出すだけでなく、提案手法の革新性と変革的性質を強調するものである。

デジタルプラットフォーム上では、インタラクティブ性は構造化されたコンテンツブロック、ナビゲーション要素、コンテンツ管理インターフェースの相乗的統合により実現される。この統合により、大量の資料内での効率的なナビゲーションが可能となる。視覚障害者にとって、これらのインタラクティブ要素は特に重要であり、従来部分的または完全にアクセス不能であった情報へのアクセスの入口として機能する。

アクセシビリティ統合型インタラクティブ性の基本要素
構造化されたテーマ別ブロック

- コンテンツは明確な見出し付きの論理的なセクションに体系的に整理され、利用者が迅速に資料内を把握できるように設計される。
- 各セクションにはメタデータや意味ラベルが付与され、スクリーンリーダー等の支援技術と互換性を確保し、視覚障害者が異なるセグメント間を効果的に移動可能とする。

ナビゲーション要素

- ハイパーリンクやインタラクティブボタンにより、言語版やテーマ別モジュール間を直接移動でき、大規模スクロールの必要性を排除する。
- 学術文書、表データ、グラフ、補助資料などの識別のため、記号やピクトグラムを使用し、すべての要素には支援技術向けのテキスト代替が付与される。

支援・補助技術への適応

- プラットフォームはスクリーンリーダー、拡大ソフト、その他補助ソリューションとの完全互換性を有する。
- 高コントラスト配色や動的に拡大可能なタイポグラフィを採用し、部分視覚障害者に対する視認性を確保する。
- 表やグラフにはテキスト注釈・解説レイヤーを体系的に付加し、視覚情報の意味内容を伝達する。

音声ガイドおよび聴覚的指示

- 主要セクションには音声ナレーションを付与し、デジタル環境全体でのナビゲーションを補助する。
- 音声ベースの操作により、視覚に依存せず資料の順序把握や操作が可能となり、利用者のインクルーシブ性を大幅に向上させる。

翻訳の基準言語と品質保証

基準言語の使用

- 指定された基準言語（通常は英語）を一貫して使用することで、多言語適応における論理的一貫性、用語精度、意味の整合性が維持される。
- 特に視覚障害者にとって、ナビゲーションの安定性と言語精度は情報へのアクセスと処理の効果性に不可欠である。

手法の実践的利点

インクルーシブ性

- 科学、専門職、業務、文化・芸術資料への公平なアクセスを保障する。

- アクセシビリティ機能を設計段階から統合することで、従来アクセスが困難であった利用者也、学術、専門、業務、芸術の各領域で資料を完全に利用可能となる。
- すべての利用者が感覚的制約に関わらず平等に資料に接し、社会的包摂を促進する。

効率性

- 明確なテーマ別ブロックに整理された構造化コンテンツとインタラクティブナビゲーションにより、大量の情報を効率的に把握可能。
- 認知的負荷や検索時間を低減し、研究者・専門家・文化実践者が迅速かつ正確に情報を分析・統合できる。
- 視覚障害者に対しても、インタラクティブ指示やスクリーンリーダー対応要素により操作効率が向上する。

普遍性

- このインタラクティブ多言語手法は、科学シリーズ、専門文書、業務資料、文化・芸術プロジェクトに適用可能。
- 学術研究、専門報告、業務文書、文学コレクション、マルチメディア展示など、すべてのコンテンツにおいてアクセス性、用語精度、論理的一貫性を同時に確保できる。

社会的イノベーション

- 従来の多言語プラットフォームは、包括性を中核機能として統合することが少なかった。
- これに対し、インタラクティブ多言語手法は完全に統合された包括的手法の先駆例として、既存システムの欠落部分を補い、学術・専門・業務・文化領域における社会的責任あるデジタル設計の基準を確立する。

各種資料におけるインタラクティブティ

科学、専門職、業務、文化・芸術分野のプロジェクトにおいて、インタラクティブ要素は利用性とアクセス性を高めるために多様な実践的機能を果たす。

シームレスな言語切替

- 利用者は資料の異なる言語版間を、文体や正確性、意味のニュアンスを損なうことなく切り替え可能。
- 文学作品では作者の表現を保持し、科学・専門・業務文書では用語精度を維持する。

補助資料へのアクセス

- インタラクティブリンクにより、用語解説、専門概念の用語集、内容に関連する文脈情報が提供される。
- 特に非母語話者、視覚障害者、従来の参照資料へのアクセスが限定的な利用者にとって理解度と関与を向上させる。

音声およびテキストによる誘導

- ナレーションやテキストによる指示により、視覚障害者も科学、専門、業務、芸術のいずれの資料にも効果的にアクセスできる。
- マルチモーダル管理システムにより、すべての利用者に公平な情報アクセスが提供され、形式にかかわらず包括的な理解が可能となる。

異文化・学際的対話の統合

- インタラクティブ要素は、資料、注釈、解説リソースを連結することで、異文化間および学際的な交流を促進する。
- 幅広い国際的利用者にアクセス可能な状態を維持しつつ、論理的一貫性、インクルーシブ性、ナビゲーションの容易性を確保する。
- これにより、異文化理解、科学的協働、専門職コミュニケーションが促進される。

結論

このように、インタラクティブ多言語性はアクセシビリティ要素と組み合わせることで、普遍的コミュニケーションの新たなパラダイムを確立する。これにより、構造的な一貫性、用語の正確性、インクルーシブ性、ユーザーフレンドリーな機能が、多様な利用者層（視覚障害者を含む）に対して同時に提供される。本手法は、グローバルデジタル環境における科学的、専門的、文化・芸術的シリーズの持続可能な発展に寄与する条件を整え、インタラクティブ多言語方法論の実践的革新性と社会的意義を示す。

インタラクティブ多言語方法論は、テキストのすべての言語版において、用語、意味、論理構造の整合性を保証する [1,2]。意味の精度を重視した翻訳（セマンティック翻訳）と、バックトランスレーションなどの厳格な品質管理手順を組み合わせることで、正確性、信頼性、学術的信憑性が確保される [5,8]。これらのメカニズムは、特に技術的精度や概念的整合性が求められる文脈において、言語間での意味のずれを防ぐ上で不可欠である。

実践的には、本方法論は以下の複数の領域で高い有効性を示す：

- 科学出版：研究成果の可視性を向上させ、国際的なインデックスシステム（Scopus、Web of Science、DOAJなど）への適合性を確保し、グローバルな学術討論への参加を促進する。

- 文学・芸術プロジェクト：文体の整合性を保持しつつ、より広範な国際読者へのアクセスを提供し、異文化間の対話や創作作品の言語を超えた認知を支援する。
- 行政・業務文書：法的正確性、用語の標準化、意思決定過程の透明性を確保し、多言語・多国籍組織における運用を支援する [4,7]。

本方法論のもう一つ重要な要素は、そのインタラクティブ性にある。インタラクティブな記号、ナビゲーションボタン、ハイパーリンク、意味的マークアップの統合により、利用者は言語版や構造的セクション間をシームレスに切り替えることが可能となる。これにより、特に学術・専門・創作コンテンツが大量に存在するデジタル環境におけるアクセシビリティと利便性が大幅に向上する [3,9]。

インクルーシブデザインの観点からは、多言語性とインタラクティブナビゲーションの組み合わせにより、スクリーンリーダー、音声読み上げソフト、適応表示ツールとの互換性が確保され、視覚障害者に対するアクセシビリティも高まる。

さらに、本方法論は他の国際的シリーズやプラットフォームへの適用可能性を有しており、ORCID、Crossref、機関リポジトリ、オープンアクセス出版基盤などのグローバル研究インフラへの統合により、可視性の向上だけでなく、出版物の国際的持続的引用可能性も確保できる。

さらに、本方法論はWCAG 2.1 [11] および ISO 9241-171 [12] といった国際的アクセシビリティ基準に準拠しており、これにより作成・共有されるコンテンツは公認されたインクルーシブデザインの原則に適合する。WCAG 2.1 は視覚・聴覚・認知・運動機能に障害を持つ人々に対してウェブベース資料のアクセシビリティを確保する詳細なガイドラインを提供し、ISO 9241-171 はソフトウェアアクセシビリティのための人間工学的原則に焦点を当て、より幅広い利用者にとっての使いやすさを向上させる。これらの基準を統合することで、本方法論は単なる規格遵守にとどまらず、公平でインクルーシブ、かつ普遍的に利用可能な資料の作成を促進する。

将来的には、インタラクティブ多言語化は、AI支援翻訳、適応型多言語データベース、および自動意味検証ツールの導入によってさらに進化する可能性がある。これらの革新により、資料の翻訳・配信の迅速化が図られるとともに、学術、法務、芸術における意味精度や文化的配慮が保持される。

結論として、アクセシビリティ機能を備えたインタラクティブ多言語化は単なる技術的革新ではなく、知識、文化、ガバナンス間の相互作用の

在り方を再定義する概念的・方法論的枠組みである。精度と包摂性、地域固有性とグローバル接続性を融合させることで、持続可能かつ普遍的にアクセス可能なコミュニケーションシステムの構築基盤を提供する。その変革的可能性は科学、ビジネス、文化の各領域に及び、現代デジタルコミュニケーション実践の基盤となるものである。

参考文献

1. Hnatiuk, I. (2017). Multilingual scientific communication: theory and practice. Kyiv: Kyiv University Press.
2. Smith, J., & Johnson, R. (2021). Semantic translation in scientific publishing. *International Journal of Translation Studies*, 14(2), 101–119.
3. Garcia, I., Pérez, L., & Torres, M. (2020). Multilingual digital platforms: Interactive navigation and user experience. *Journal of Multilingual Communication*, 12(3), 45–62.
4. Melnyk, O. (2021). Terminological standardisation in multilingual documents. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv.
5. Baker, M. (2018). *In other words: A coursebook on translation* (3rd ed.). Routledge.
6. Cronin, M. (2017). *Translation and globalization*. Routledge.
7. StateGeoCadastre (2018). *Standards of office work and multilingual documents*. Kyiv: State Land Cadastre.
8. Gile, D. (2009). *Basic concepts and models for interpreter and translator training*. John Benjamins Publishing.
9. Shevchenko, T. (2019). *Interactive platforms and user experience*. Kharkiv: KHNU.
10. Kovalenko, L. (2020). *Literary and artistic translations: methodology and practice*. Kyiv: Naukova Dumka.
11. W3C. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
12. ISO 9241-171:2008. *Ergonomics of human-system interaction — Part 171: Guidance on software accessibility*.

Блок 2_Клінічні кейси / Block 2_Clinical Cases

Цей блок присвячений аналізу клінічних випадків із міждисциплінарним підходом, що поєднує кардіологічні, нейрохірургічні та соціальні аспекти. Мета – показати практичну реалізацію теоретичних знань, методів діагностики та лікування у реальних клінічних ситуаціях. Розглядаються принципи комплексного спостереження пацієнтів, оцінки ризиків та інтерпретації результатів обстежень у контексті міждисциплінарного дослідження.

This block focuses on the analysis of clinical cases using an interdisciplinary approach that integrates cardiological, neurosurgical, and social aspects. Its aim is to demonstrate the practical application of theoretical knowledge, diagnostic methods, and treatment strategies in real clinical scenarios. The block addresses principles of comprehensive patient monitoring, risk assessment, and interpretation of examination results within an interdisciplinary research context.

Блок також висвітлює роль клінічних кейсів у розвитку критичного мислення та прийнятті клінічних рішень. Розглядаються стандартизовані методи оцінки пацієнтів, інтеграція сучасних технологій у діагностику та робота міждисциплінарних команд для оптимізації результатів лікування. Підкреслюється важливість документування процесів і результатів, а також забезпечення пацієнт-орієнтованого підходу з урахуванням етичних та соціальних аспектів.

The block also highlights the role of clinical cases in developing critical thinking and informed decision-making. It covers standardized patient assessment, integration of modern diagnostic technologies, and the use of interdisciplinary teams to optimize treatment outcomes. The importance of documenting processes and results, as well as ensuring a patient-centered approach that considers ethical and social aspects, is emphasized.

Особлива увага приділяється взаємодії фахівців різних галузей, точності клінічної документації та веденню пацієнтів із комплексними патологіями. Також розглядаються етичні аспекти, інформування пацієнтів і забезпечення безбар'єрного доступу до медичних матеріалів для людей з обмеженими можливостями.

Special attention is given to collaboration among specialists, accuracy of clinical documentation, and management of patients with complex pathologies. Ethical considerations, patient information, and barrier-free access to medical materials for people with disabilities are also addressed.

[UA_2]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Клінічний випадок синдрому Вольфа-Паркінсона-Вайта

Анотація

Описано складний клінічний випадок пацієнтки з вродженим синдромом Вольфа — Паркінсона — Вайта (WPW), ускладненим критичним стенозом аортального клапана та пароксизмальною тахікардією. Клінічні прояви імітували епілепсію, що створювало суттєві діагностичні труднощі. Встановлено, що поєднання надшлуночкової тахікардії за участі повторного кола (AVRT — atrioventricular reentrant tachycardia) у пацієнтки з критичним аортальним стенозом призвело до транзиторного зниження серцевого викиду та гіперперфузії головного мозку, що викликало судомоподібні епізоди та втрату свідомості [1, 2, 3].

Випадок підкреслює хибну інтерпретацію симптомів після апендектомії, ускладненої клінічною смертю, що призвела до призначення протиепілептичної терапії без належного кардіологічного обстеження [4]. Незважаючи на підтверджений діагноз синдрому WPW, пацієнтці було встановлено інвалідність на основі психіатричного профілю [5].

Ретроспективний аналіз виявив недооцінку ролі вроджених порушень серцевої провідності у виникненні судом, втрати свідомості та вегетативних симптомів [6, 7].

Особлива увага звертається на важливість мінімального моніторингу (ЕКГ, пульсоксиметрія, артеріальний тиск) під час операції, що є обов'язковим для своєчасного виявлення аритмій і гіпоксії, а також на необхідність мультидисциплінарного підходу до діагностики та перегляду медико-соціальної експертизи з урахуванням кардіологічних висновків [8, 9].

Ключові слова: синдром Вольфа–Паркінсона–Уайта; аритмія; епілептиформні напади; апендектомія; мультидисциплінарна діагностика; постреанімаційна енцефалопатія; диференційна діагностика.

Вступ

Синдром Вольфа — Паркінсона — Вайта (WPW) — це вроджене порушення серцевої провідності, яке зумовлене наявністю додаткового провідного шляху (пучка Кента), що спричиняє передчасне збудження шлуночків і може призводити до розвитку пароксизмальних тахікардій, зокрема авіатріовентрикулярного реентрі-такікардії (AVRT — atrioventricular reentrant tachycardia), що зазвичай не є життєвоzagрозливим і добре лікується препаратами АТФ та β -блокаторами [2, 5].

У віці 15 років пацієнтці було проведено апендектомію під загальним наркозом, при цьому синдром WPW не був діагностований. Офіційний діагноз WPW встановлено у 16 років і підтверджено у 19 [1, 6]. У період між 27 та 30 роками її клінічний стан помилково інтерпретували як епілепсію, тоді як симптоми були зумовлені пароксизмальною тахікардією на фоні WPW.

Аритмії при WPW можуть імітувати епілептичні напади, що створює значні діагностичні труднощі [4]. Вегетативні кризи та церебральна гіпоксія ускладнюють клінічну картину, особливо у молодих пацієнтів [3, 7]. Помилкова інтерпретація цих симптомів часто призводить до неправомірного психіатричного статусування пацієнтів і відповідних соціальних наслідків [9].

Зважаючи на часті діагностичні помилки та фрагментарність ведення хворих із WPW, необхідним є мультидисциплінарний підхід, а також підвищення обізнаності медичних працівників про особливості цього синдрому [8]. Особливо важливо забезпечити мінімальний інтраопераційний

моніторинг (ЕКГ, пульсоксиметрія, артеріальний тиск) для своєчасного виявлення аритмій і попередження гіпоксії.

Мета дослідження

Комплексний аналіз клінічного випадку пацієнтки з синдромом Вольфа — Паркінсона — Вайта (WPW), ускладненим аортальним стенозом і епілептиформними проявами, з акцентом на вплив хірургічного втручання на перебіг захворювання та діагностичні труднощі.

Завдання дослідження:

- Провести диференціальну діагностику між пароксизмальними аритміями при WPW та епілептичними нападами для уточнення терапії й соціального супроводу [1, 6].
- Проаналізувати взаємозв'язок між апендектомією, маніфестацією WPW та помилковим психіатричним діагнозом [4, 7].
- Оцінити наслідки призначення карбамазепіну при відсутності підтвердженої епілепсії [3, 7].
- Дослідити анестезію як можливий тригер неврологічних ускладнень при WPW [3].
- Вивчити патогенетичний зв'язок WPW із вегетативною дисфункцією, епілептиформними проявами та синкопальними станами [1, 6].
- Підкреслити необхідність перегляду підходів до медико-соціальної експертизи, зважаючи на хибні психіатричні висновки й пізнє виявлення WPW [7, 9].
- Обґрунтувати застосування температурної провокаційної проби як додаткового діагностичного інструменту при невизначеній неврологічній симптоматиці [1].

У підсумку, дослідження має на меті поглибити розуміння коморбідної патології WPW, удосконалити діагностичні підходи й терапевтичні стратегії в умовах міждисциплінарного ведення.

Матеріали та методи

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є, пацієнтка 1975 року народження з діагнозом синдром Вольфа—Паркінсона—Уайта (WPW). Метою дослідження є аналіз клінічного перебігу захворювання з підліткового віку з акцентом на взаємодію між кардіологічною та неврологічною симптоматикою, а також вплив перенесених хірургічних втручань [3, 4].

У 15-річному віці пацієнтка перенесла апендектомію. Після оперативного втручання у неї відзначалися рецидивуючі епізоди транзиторної втрати свідомості, що супроводжувалися генералізованими тоніко-клонічними судомами. Незважаючи на відсутність операційної документації за той період,

ретроспективний аналіз свідчить про високу ймовірність періопераційної зупинки серця або тяжкого брадіаритмічного епізоду. Подібний стан, ймовірно, призвів до транзиторної циркуляторної недостатності й гіпоксії головного мозку. Гіпоксичні епізоди такого типу є відомими тригерами тривалих неврологічних ускладнень, які часто імітують епілептичні синдроми. У цієї пацієнтки вказані події клінічно проявлялися як раптові синкопальні стани, виражена задишка, судоми та постіктальна дезорієнтація, що на початковому етапі було складно відрізнити від ідіопатичної епілепсії [3].

Первинний діагноз WPW встановлено у 1991 році (пацієнтці 16 років) у НДІ охорони здоров'я дітей та підлітків ім. Н.К. Крупської на підставі електрокардіографічних ознак передчасного збудження; остаточне підтвердження отримано у 1994 році в Інституті терапії ім. Л.Т. Малої НАМН України (пацієнтка 19 років), що дозволило відділити первинну кардіальну патологію від вторинних неврологічних проявів. Накопичені дані дали змогу ретроспективно оцінити вплив ранніх серцевих ускладнень і періопераційних подій на подальший неврологічний стан [2].

Таким чином, цей клінічний випадок створює унікальні умови для вивчення багатофакторної взаємодії між хірургічним анамнезом, порушеннями серцевої провідності та неврологічними наслідками. Він наголошує на необхідності інтегрованого діагностичного підходу, який передбачає співпрацю кардіологів і неврологів для інтерпретації перехресних симптомів, забезпечення точного стратифікування ризиків і розробки індивідуалізованого плану лікування пацієнтів із синдромом WPW.

З огляду на складність клінічної картини та поєднання електрофізіологічних і неврологічних розладів, подальший аналіз вимагав багаторівневих досліджень, спрямованих на підтвердження порушень та оцінку їхнього впливу на соматичний і психоемоційний стан пацієнта. Комплексний підхід відповідав принципам доказової медицини, забезпечуючи інтегроване розуміння патогенезу та динаміки захворювання.

Для отримання достовірної клінічної оцінки було застосовано п'ять груп методів:

- **Електрофізіологічні** — електрокардіографія, Холтер-моніторинг, електроенцефалографія, що дозволили виявити порушення ритму та зміни мозкової активності.
- **Нейровізуалізаційні** — МРТ і КТ головного мозку для ідентифікації структурних змін (менінгіома, постішемні ураження).
- **Кардіологічні** — ехокардіографія, велоергометрія, моніторинг тиску, які визначили взаємозв'язок між серцевими й нейрогенними порушеннями.

- **Біохімічні** — аналізи електролітів, гормонів та нейромедіаторів, що уточнили метаболічні аспекти патології.
- **Психофізіологічні** — нейропсихологічні тести й шкали тривожності та агресії, спрямовані на оцінку поведінкових змін.

Застосування цих методів дало змогу диференціювати причини порушень, сформувати індивідуальну стратегію лікування та визначити баланс між медикаментозним, реабілітаційним і психосоціальним втручанням.

Підставою для діагностики є показники значення кожної групи методів за критеріями опису значень, які відповідають встановленим вимогам (табл. 1).

1. Діагностичні методи

Група методів	Опис та значення
Анамnestичні	Реконструкція перебігу хвороби з дитинства, виявлення зв'язку між апендектомією, гіпоксією та клінічними проявами.
Інструментальні	ЕКГ*, холтерівське моніторування, ехокардіографія — уточнення електричної активності серця, ритмічних порушень і гемодинаміки.
Неврологічна оцінка	Відео-ЕЕГ**, температурна проба, аналіз вегетативних реакцій — диференціація епілепсії від аритмогенних нападів.
Аналітичні	Клініко-патогенетичний синтез симптомів для встановлення причинно-наслідкових зв'язків.
Математичне моделювання	Розрахунок індексів гіпоксії, градієнтів тиску, варіабельності ритму — кількісна оцінка ризиків і прогнозу.

*ЕКГ – електрoкардіoгpама.

**ЕЕГ – електpоенцефалoгpафії.

Джерело: авторська розробка

Клінічні спостереження

Клінічне спостереження пацієнтки показало, що синдром Вольфа–Паркінсона–Уайта (WPW) проявлявся як комплексний синдром із поєднанням кардіологічних і неврологічних компонентів. Ключовими симптомами були рецидивуюча пароксизмальна тахікардія, синкопальні стани, судоми та порушення вегетативної функції. Багато ознак залишалися латентними або малопомітними до моменту провокації фізіологічним стресом або хірургічними втручаннями, що ускладнювало ранню діагностику та часто призводило до неадекватного первинного ведення пацієнтки.

Аналіз хірургічного анамнезу виявив, що апендектомія в підлітковому віці могла виступати фізіологічним тригером для активації латентного WPW-синдрому. Хірургічний стрес у поєднанні з загальною анестезією, ймовірно, спричинив гостру церебральну гіпоксію, яку спочатку неправильно інтерпретували як первинне судомне захворювання. Унаслідок цього пацієнтці було призначено карбамазепін, протисудомний препарат, який

виявився неефективним і потенційно шкідливим, оскільки може погіршувати порушення атріовентрикулярної провідності [3, 4].

Ретроспективний аналіз і клінічні наслідки:

Ретроспективна оцінка підкреслює необхідність багаторівневого діагностичного підходу у випадках неоднозначних проявів WPW. Це включає:

- комплексну документацію частоти синкопальних епізодів і тривалості тахікардії;
- кореляцію аритмічних епізодів із зовнішніми фізіологічними або емоційними тригерами;
- детальну оцінку порушень вегетативної нервової системи із застосуванням температурних провокаційних тестів та інших функціональних досліджень;
- реалізацію міждисциплінарного підходу, що інтегрує кардіологію, неврологію, психіатрію та реабілітаційні служби для розробки індивідуалізованих стратегій лікування та підтримки пацієнтки.

Застосування цієї методології дозволяє:

1. запобігати психіатричним помилковим діагнозам на основі неврологічно зумовлених симптомів;
2. ранньо виявляти субклінічні аритмії та пов'язані з ними неврологічні наслідки;
3. оптимізувати терапевтичні стратегії, включаючи специфічні кардіологічні втручання;
4. обґрунтовувати необхідність перегляду статусу непрацездатності на основі об'єктивних кардіологічних критеріїв, особливо у пацієнтів, раніше неправильно класифікованих у психіатричні категорії [7, 9].

Цей клінічний випадок підкреслює складну взаємодію ранніх хірургічних втручань, латентного WPW-синдрому та вторинних неврологічних проявів. Він демонструє, що без своєчасного виявлення та міждисциплінарної оцінки клінічна картина може бути неправильно інтерпретована, затримуючи ефективне лікування. Дані наголошують на важливості структурованих маршрутів ведення пацієнтів із перекриттям кардіологічних та неврологічних проявів, особливо коли помилковий діагноз може впливати на довгострокові результати лікування та соціальну підтримку.

Математичні моделі в клінічній кардіології

Математичні моделі в клінічній кардіології формалізують електрофізіологічні процеси серця, кількісно оцінюють його функції та прогнозують ефективність терапії. Для пацієнтів із синдромом Вольфа–Паркінсона–Уайта (WPW) це особливо важливо через наявність додаткового

провідного шляху між передсерддями та шлуночками, що викликає передчасне збудження шлуночків і підвищує ризик суправентрикулярних тахіаритмій.

Сучасні моделі дозволяють імітувати електричну активність серця на різних рівнях:

- **Клітинні моделі іонних каналів** – описують деполяризацію та реполяризацію кардіоміоцитів, токи натрію, калію, кальцію та їх взаємодію, що передбачає появу екстрасистол і тахікардій [1, 2].
- **Тканинні моделі проведення імпульсу** – імітують поширення збудження через передсердя, шлуночки та додаткові шляхи, оцінюючи ризик аритмій у WPW [3].
- **Моделі органного рівня та гемодинаміки** – поєднують електрофізіологію з серцево-судинними параметрами для оцінки впливу фармакологічних або інвазивних втручань, зокрема катетерної абляції [4].
- **Моделі ризику та прогнозу** – інтегрують клінічні, ЕКГ та інвазивні дані для оцінки ймовірності небезпечних аритмій [5].

Інтеграція моделей дозволяє створювати персоналізовані цифрові серця, що відтворюють анатомію, електрофізіологію та реакції на терапію. Вони прогнозують результати абляцій і лікування, оцінюють ризики та оптимізують параметри процедур, сприяючи персоналізації планів для пацієнтів із синдромом Вольфа–Паркінсона–Уайта та суміжними аритміями, підвищуючи точність рішень і безпеку допомоги.

1. Частота серцевих скорочень під час тахікардії:

Розрахунок частоти серцевих скорочень (ЧСС) ґрунтується на вимірюванні інтервалу RR на електрокардіограмі (формула 1):

$$HR = \frac{60}{RR} \quad (1)$$

Де:

HR (Heart Rate) — шлуночкова частота серцевих скорочень, уд./хв.;

60 — кількість секунд в одній хвилині (конвертація одиниць виміру).

RR — інтервал між двома послідовними R-хвилями на ЕКГ, с.

Джерело: [10, 11]

У пацієнтів із синдромом Вольфа–Паркінсона–Уайта (WPW) розвиток пароксизмальної тахікардії супроводжується суттєвими порушеннями серцевого ритму, при яких частота серцевих скорочень може перевищувати 180–220 уд./хв. У таких випадках відбувається значне скорочення діастолічного періоду, що обмежує коронарне наповнення та призводить до зниження серцевого викиду. Внаслідок цього формується гемодинамічна

нестабільність, яка проявляється артеріальною гіпотензією, запамороченням, синкопальними станами та ішемією міокарда.

Патофізіологічним механізмом цього явища є наявність додаткового шляху проведення збудження (пучок Кента), який зумовлює передчасну деполяризацію шлуночків і формує умови для циркуляції імпульсу за типом re-entry. Тривале збереження тахікардії на таких частотах може призвести до гострої серцевої недостатності, фібриляції передсердь або навіть фібриляції шлуночків, що становить безпосередню загрозу життю пацієнта.

Тому своєчасна діагностика, електрофізіологічне дослідження та підбір антиаритмічної терапії (зокрема за участі радіочастотної абляції додаткового шляху проведення) є ключовими у попередженні тяжких ускладнень і стабілізації гемодинамічних показників.

2. Інтервал PR і тривалість комплексу QRS:

Оцінка інтервалу PR та тривалості комплексу QRS є одним із ключових електрокардіографічних критеріїв для діагностики синдрому Вольфа–Паркінсона–Уайта (WPW) та стратифікації пов'язаного аритмогенного ризику. Точне вимірювання цих параметрів забезпечує важливу інформацію про динаміку атріовентрикулярного проведення та дозволяє відрізнити WPW від інших порушень надшлуночкової провідності. Інтервал PR, який визначається як час від початку зубця Р до початку комплексу QRS, відображає загальний час проведення електричного збудження від синусового вузла через міокард передсердь і атріовентрикулярний вузол до шлуночків через систему Гіса–Пуркінє.

У пацієнтів із синдромом WPW зазвичай спостерігається скорочений інтервал PR (<120 мс). Таке скорочення зумовлене наявністю додаткового атріовентрикулярного шляху проведення, відомого як пучок Кента, який обминає нормальну фізіологічну затримку в AV-вузлі та спричиняє передчасну деполяризацію шлуночків. Унаслідок цього шлуночки активуються раніше від звичайного, що призводить до появи характерної дельта-хвилі на електрокардіограмі та розширення комплексу QRS. Таке раннє збудження змінює послідовність активації шлуночків і підвищує схильність до ре-ентрі тахіаритмій, що підкреслює клінічну значущість ретельного аналізу інтервалів PR та QRS у процесі діагностики та оцінювання ризику.

Системний аналіз співвідношення інтервалу PR і тривалості QRS також дозволяє оцінити електрофізіологічну активність шлуночків та потенційні ризики розвитку тахіаритмій, включно з пароксизмальною суправентрикулярною тахікардією та фібриляцією шлуночків. Виявлення характерних змін у цих інтервалах дозволяє диференціювати WPW від

інших форм передчасного збудження, а також інтегрувати дані ЕКГ у прогностичні моделі ризику.

Таким чином, аналіз інтервалів PR і комплексів QRS є обов'язковим етапом електрофізіологічного обстеження пацієнтів із підозрою на WPW. Він забезпечує стратифікацію ризику, допомагає обрати оптимальну терапію та зменшити ймовірність серцевої смерті й ускладнень, пов'язаних із тахіаритміями (формула 2).

$$PR = t_{A-H} + t_{H-V}, \quad QRS = t_V \quad (2)$$

Де:

PR — від початку деполяризації передсердь до початку деполяризації шлуночків, мс.

t_{A-H} — час проведення від передсердь до АВ-вузла, мс.

t_{H-V} — час проведення від АВ-вузла до шлуночків, мс.

QRS — тривалість деполяризації шлуночків, мс.

t_V — тривалість деполяризації шлуночків, мс.

Джерело: [11, 12]

У пацієнтів із WPW PR зазвичай скорочений (<120 мс), тоді як комплекс QRS розширений (>110 мс), що є типовими ознаками передзбудження.

3. Ефективний рефрактерний період додаткового шляху (APERP): є ключовим параметром електрофізіологічної оцінки при синдромі Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW) та інших порушеннях проведення із залученням додаткових шляхів. APERP визначає мінімальний інтервал між двома стимуляціями, протягом якого додатковий шлях здатний проводити імпульс, не допускаючи повторної активації передсердь або шлуночків.

Короткий APERP клінічно асоціюється з підвищеним ризиком надшлуночкових і шлуночкових аритмій, включно з фібриляцією шлуночків.

Для оцінки ризику виникнення небезпечних аритмій використовується формула (APERP) (формула 3):

$$APERP = t_{\text{refractory}} \quad (3)$$

Де:

APERP — мінімальний інтервал (мс), протягом якого додатковий шлях не проводить новий імпульс;

$t_{\text{refractory}}$ — вимірний рефрактерний період, мс.

Джерело: [13, 14]

Формально APERP визначається як мінімальна тривалість інтервалу S1–S2 під час програмованої електростимуляції передсердь або шлуночків, за якої додатковий шлях проводить імпульс у шлуночки без блокування.

Дослідження демонструють, що короткий APERP (<250 мс у дорослих) є незалежним предиктором небезпечних аритмій, тоді як подовжений APERP

(>300 мс) свідчить про низький ризик тяжких порушень ритму. На APERP також впливають фактори автономної нервової системи, електролітний баланс, прийом антиаритмічних препаратів та структурні зміни міокарда, що підкреслює необхідність комплексного індивідуального підходу до оцінки ризику аритмій.

4. Довжина циклу тахікардії:

Довжина циклу тахікардії (Tachycardia Cycle Length, TCL) характеризує проміжок часу між двома послідовними комплексами QRS під час тахікардії і відображає швидкість повторного активаційного кола серця. TCL є критичним параметром для розуміння механізмів підтримки аритмії, зокрема циркуляції імпульсу через додаткові шляхи або ділянки передсердь і шлуночків.

Вимірювання TCL дозволяє оцінити:

- частоту серцевих скорочень під час тахікардії;
- стабільність та стійкість аритмічного кола;
- ризик гемодинамічних порушень, включаючи зниження серцевого викиду та ішемію міокарда;
- потенційний ефект антиаритмічних препаратів на уповільнення або блокаду циркуляції імпульсу.

TCL також використовується при плануванні інвазивних втручань, зокрема катетерної радіочастотної абляції. Знання тривалості циклу дозволяє оптимально підбирати параметри стимуляції та визначати критичні ділянки проведення імпульсу. Довжина циклу тахікардії є корисним прогностичним маркером: короткі TCL свідчать про більш часту активацію серцевого міокарда, підвищений ризик шлуночкових порушень ритму та тяжкий клінічний перебіг.

Довжина циклу тахікардії визначається як інтервал RR під час аритмії (формула 4):

$$TCL = t_{RR\_tachy} \quad (4)$$

Де:

TCL (Tachycardia Cycle Length) — тривалість одного циклу тахікардії, мс.

t_{RR_tachy} — Інтервал RR під час тахікардії, мс.

Джерело: [11, 15]

Скорочення TCL корелює з підвищеним ризиком розвитку небезпечних аритмій, погіршенням гемодинаміки та клінічного прогнозу, тоді як подовжена довжина циклу зазвичай асоціюється з більш стабільним перебігом аритмії і нижчим ризиком ускладнень. Врахування TCL у комплексній оцінці пацієнта дозволяє індивідуалізувати лікування, включно з фармакотерапією та вибором стратегії катетерної абляції.

5. Ефективність радіочастотної абляції:

Радіочастотна абляція (РЧА) визнана золотим стандартом лікування синдрому Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW) та інших порушень проведення з наявністю додаткових шляхів. Ефективність процедури визначається здатністю повністю усунути патологічний шлях проведення імпульсу, запобігти повторним епізодам пароксизмальної надшлуночкової тахікардії та мінімізувати ризик шлуночкових аритмій.

Формальна оцінка ефективності РЧА здійснюється через співвідношення (формула 5):

$$P_{\text{success}} = \frac{N_{\text{abolished}}}{N_{\text{attempts}}} \times 100\% \quad (5)$$

Де:

P_{success} — відсоток успішності процедури;

$N_{\text{abolished}}$ — кількість додаткових шляхів, повністю ампутованих під час РЧА;

N_{attempts} — загальна кількість спроб абляції.

Джерело: [14, 16]

Клінічно ефективна РЧА забезпечує:

- нормалізацію електрокардіографічного проведення;
- зникнення або значне зменшення частоти епізодів надшлуночкової тахікардії;
- суттєве зниження ризику шлуночкових аритмій, фібриляції шлуночків та раптової серцевої смерті.

Дослідження показують, що ефективність РЧА у дорослих пацієнтів із WPW перевищує 95%, а ризик рецидиву тахікардії після правильно виконаної процедури залишається низьким (<5%). До ключових факторів, що впливають на успішність абляції, належать: локалізація додаткового шляху, анатомічні особливості міокарда, попереднє фармакологічне лікування та кваліфікація електрофізіолога.

Варто підкреслити, що оцінка ефективності РЧА не обмежується лише електрофізіологічними параметрами. Вона включає також клінічний аналіз стану пацієнта після процедури, моніторинг відсутності повторних епізодів тахікардії, динаміку електрокардіографічних показників та нормалізацію функції серця. Такий комплексний підхід дозволяє оцінити не лише технічний успіх втручання, а й довгострокову клінічну користь для пацієнта, підвищуючи безпеку та якість медичної допомоги.

Клінічний контекст:

Математичні моделі електрофізіологічних процесів мають прикладне значення у клінічній кардіології, оскільки дозволяють кількісно оцінити аритмогенне навантаження, визначити ризик синкопальних станів і гемодинамічної нестабільності, а також обґрунтувати стратегію та час

радіочастотної абляції (РЧА). Використання таких моделей особливо важливе у пацієнтів із синдромом Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW), де передзбудження шлуночків через додатковий шлях може призводити до пароксизмальних тахіаритмій, проявляючись прискореним серцебиттям, запамороченням, непритомністю і ризиком раптової серцевої смерті.

Кількісні показники, розраховані за допомогою моделей, дозволяють оцінити критичні пороги, що визначають необхідність втручання. Використані константи (60 для переведення секунд у хвилини, 1000 для мілісекунд у секунди, межі нормальних інтервалів PR, QRS, APERP) базуються на міжнародних стандартах електрофізіології, що забезпечує відтворюваність та відповідність клінічним протоколам.

Таким чином, моделі інтегрують електрофізіологічні дані у клінічну практику, сприяючи оптимізації діагностики та лікування пацієнтів із WPW.

1. *Вроджене порушення провідності – синдром WPW:*

- **Механізм:** Пучок Кента створює додатковий атріовентрикулярний шлях, що дозволяє електричним імпульсам обходити AV-вузол.
- **Наслідки:** Розвиток тахікардії по замкненому колу (re-entry), підвищення ризику надшлуночкових і шлуночкових аритмій.
- **Клінічні прояви:** Пароксизми тахікардії, які можуть залишатися непоміченими до провокації (стрес, хірургія, ліки).

2. *Аритмія та транзиторна церебральна ішемія:*

- **Механізм:** Хірургічний стрес або анестезія можуть провокувати аритмію або транзиторну зупинку серця.
- **Наслідки:** Зниження серцевого викиду та мозкового кровотоку, пре- і постгіпоксичні зміни.
- **Клінічні прояви:** Тимчасова втрата свідомості, слабкість, когнітивні порушення.

3. *Післяопераційні неврологічні прояви:*

- **Механізм:** Мозкова гіпоксія провокує епілептоїдну активність нейронів і вегетативні кризи.
- **Наслідки:** Конвульсивні епізоди і синкопальні напади, імітація епілепсії.
- **Клінічні прояви:** Генералізовані судоми, кардіо-вегетативні симптоми.

4. *Неправильний діагноз у молодому дорослому віці:*

- **Механізм:** Відсутність комплексної кардіологічної оцінки веде до помилкової інтерпретації судом як епілепсії.
- **Наслідки:** Призначення карбамазепіну підвищує ризик шлуночкових аритмій у пацієнтів із WPW.
- **Клінічні прояви:** Посилення тахікардії, рецидивуючі судоми, синкопальні епізоди.

5. *Прогресування серцевих ускладнень:*

- **Механізм:** Хронічна аритмія та повторні тахікардії сприяють структурним змінам серця і мозковій гіпоксії.
- **Наслідки:** Порочне коло: аритмія → гіпоксія → судоми → посилення аритмії.
- **Клінічні прояви:** Часті синкопальні епізоди, погіршення когнітивної та фізичної функції.

6. *Хронічна вегетативна дисфункція та соціальні наслідки:*

- **Механізм:** Тривала аритмія у поєднанні з помилковим психіатричним діагнозом спричиняє вегетативний дисбаланс.
- **Наслідки:** Затримка цільового лікування, психоемоційне навантаження, соціальна дезадаптація.
- **Клінічні прояви:** Втолюваність, страх нових криз, ізоляція.

Ця патофізіологічна каскада демонструє тісний взаємозв'язок між вродженими порушеннями провідності, хірургічним стресом, мозковою гіпоксією та вторинними неврологічними ускладненнями. Ключова вимога – рання багатопрофільна оцінка (кардіолог, невролог, анестезіолог, психіатр) для запобігання хронічним ускладненням і мінімізації довготривалих наслідків.

Результати

Клінічний випадок пацієнтки 1975 року народження ілюструє складний перебіг синдрому Вольфа–Паркінсона–Уайта (WPW) з вираженими неврологічними, автономними та кардіологічними проявами, які довго залишалися недооціненими. З дитинства вона зазнавала епізодів серцебиття, задишки та аритмій, що свідчить про латентне порушення серцевої провідності у поєднанні з автономною дисрегуляцією, формуючи приховані неврологічні симптоми та ускладнюючи ранню діагностику.

У 1990 році, у 15-річному віці, після апендектомії під загальною анестезією, ймовірно, виник епізод короткочасної зупинки кровообігу, що призвів до повторних втрат свідомості, генералізованих судом та пароксизмальної тахікардії. Ці прояви, ймовірно, були вторинними щодо періопераційної гіпоксії, що підкреслює роль періопераційних insult як тригерів латентного WPW.

У 1991 році, під час обстеження в ДУ «Науково-дослідний інститут охорони здоров'я дітей та підлітків ім. Н.К. Крупської» (Харків), у 16 років пацієнтці вперше встановлено діагноз синдрому WPW. Підтвердження діагнозу відбулося у 1994 році в Національному інституті терапії ім. Л.Т. Мали НАМН України, коли пацієнтка досягла 19 років. Ехокардіографія виявила критичний стеноз аортального клапана (градієнт 99,2 мм рт. ст.), пролапс

мітрального клапана I ступеня, мітральну регургітацію та хронічну серцеву недостатність ранньої стадії (I стадія). Ці структурні зміни серця разом із додатковими атріовентрикулярними шляхами проведення сприяли формуванню складного клінічного фенотипу у дорослому віці.

Між 2002 та 2005 роками пацієнтці помилково встановили діагноз «епілепсія», незважаючи на наявну кардіологічну патологію, без використання ЕЕГ та нейровізуалізації. Призначення карбамазепіну, протипоказаного при WPW, посилювало аритмію та викликало когнітивні порушення, демонструючи наслідки неправильної інтерпретації кардіогенних синкопів як неврологічних чи психіатричних станів.

У 2025 році, у 50 років, комплексне обстеження підтвердило дельта-хвилі, додатковий провідниковий шлях та AVRT, постгіпоксичні когнітивні дефіцити та стійку задишку при фізичному навантаженні. Відсутність архівної операційної документації вказує на прогалини у періопераційному контролі.

Структуроване представлення даних сприяє наочності, науковій обґрунтованості висновків і подальшому аналізу кардіологічних показників (табл. 2).

2. Хронологія клінічних подій, діагностики та лікування

Рік	Подія / Діагноз	Основні симптоми	Діагностичні методи	Лікування / Результат
1990	Апендектомія	Втрата свідомості, судоми	Архівні дані відсутні	Ймовірна зупинка кровообігу, постгіпоксичні зміни
1991	Первинна діагностика WPW-синдрому	Серцебиття, задишка, тахікардія	ЕКГ, клінічний огляд	Фармакотерапія за тогочасними стандартами
1994	Повторне підтвердження діагнозу	Серцебиття, задишка, тахікардія	ЕКГ, ехокардіографія	Амбулаторне спостереження, неінвазивне кардіологічне втручання
2002–2005	Помилковий діагноз «епілепсія»	Судоми, втрата свідомості	Без ЕЕГ та нейровізуалізації	Карбамазепін → посилення аритмії, когнітивні розлади
2025	Сучасна оцінка	Пароксизми, синкопальні стани, вегетативні симптоми	ЕКГ, ЕЕГ, термoproба	AVRT* підтверджено, виявлена вагусна гіперреактивність, карбамазепін відмінено

*AVRT — атріовентрикулярна реентрикулярна тахікардія.

Джерело: авторська розробка

Динаміка випадку підкреслює взаємозв'язок латентних порушень провідності, періопераційних тригерів, автономної дисрегуляції та вторинних неврологічних проявів. Аналіз симптомів, діагностики та терапії дозволяє

реконструювати патогенетичну послідовність, враховуючи структурні зміни серця, активність провідникової системи та характер аритмій.

Отримані дані забезпечують комплексний огляд довготривалого перебігу WPW у пацієнтки, демонструють вплив хірургічного втручання 1990 року як тригерного фактора тяжких кардіо-неврологічних ускладнень та підтверджують необхідність перегляду попередніх діагнозів, соціального та інвалідизаційного статусу, особливо після необґрунтованої психіатричної оцінки.

Обговорення

Синдром Вольфа–Паркінсона–Уайта (WPW) є вродженим порушенням серцевої провідності, що характеризується наявністю додаткового атріовентрикулярного шляху (пучок Кента), який дозволяє імпульсам обходити АВ-вузол. Це часто призводить до пароксизмальних тахікардій і загрозливих аритмій, включно з раптовою зупинкою серця. Одним із серйозних наслідків є гостра церебральна гіпоксія, яка може вторинно провокувати епілептичні прояви.

У представленому клінічному випадку поєднувалися кардіологічні та неврологічні симптоми, що ускладнювало діагностику, особливо за відсутності повної медичної документації щодо попередніх епізодів аритмії. Важливо відрізнити психіатричні, кардіологічні та гіпоксично зумовлені прояви, оскільки неправильна інтерпретація може призвести до помилкових висновків і неадекватного лікування.

Для точної діагностики WPW необхідна мультидисциплінарна команда (кардіолог, невролог, аритмолог). Пароксизмальні тахікардії можуть імітувати епілептичні прояви, включно з судомами та втратами свідомості, що часто призводить до діагностичних помилок. До 30% випадків WPW можуть бути помилково інтерпретовані як епілепсія, особливо без об'єктивних кардіологічних даних.

Помилкові психіатричні висновки ускладнюють стан пацієнта: призначення протисудомних препаратів без кардіологічної оцінки може посилити аритмію та підвищити ризик шлуночкових порушень. В даному випадку провокаційні тести виявили автономну нестабільність, підтверджуючи залучення вегетативної нервової системи.

Синдром WPW може активуватися після хірургії або загальної анестезії, що у цьому випадку імітувало епілептичні прояви та призвело до некоректного діагнозу. Ефективним лікуванням є радіочастотна катетерна абляція додаткового шляху, яка знижує ризик рецидивів тахікардій та раптової зупинки серця.

Відсутність повної медичної документації обґрунтовує необхідність незалежного медико-соціального обстеження для оцінки тяжкості стану та права на інвалідність. Часті синкопальні епізоди із тахікардією та вторинними неврологічними проявами є підставою для офіційного визнання інвалідності з урахуванням кардіологічної та неврологічної природи стану.

Цей випадок демонструє взаємозв'язок між серцевою аритмією, церебральною гіпоксією та вторинними неврологічними ускладненнями, підкреслюючи необхідність ранньої мультидисциплінарної оцінки та обережного призначення протисудомних чи психіатричних втручань.

Висновки

Клінічні аспекти:

- Симптоми синдрому Вольфа–Паркінсона–Уайта (WPW) часто імітують прояви епілепсії.
- Поєднання WPW із стенозом аортального клапана значно підвищує ризик летальних наслідків.
- Постгіпоксична епілепсія може виникати після зупинки серця.
- Призначення протисудомної терапії без моніторингу ЕКГ може бути шкідливим.
- Хірургічні втручання, зокрема апендектомія, можуть виступати тригером або провокувати загострення проявів WPW.

Діагностика та лікування:

- Необхідна тісна співпраця між кардіологами та неврологами.
- Рання корекція порушень дозволяє запобігти тяжким ускладненням.
- Причини синкопе мають бути чітко диференційовані.
- Температурні тести можуть виявляти дисфункції автономної нервової системи.
- Терапевтичні втручання слід розпочинати лише після повної кардіологічної оцінки.

Медико-соціальні аспекти:

- Об'єктивна оцінка є критично важливою для визначення інвалідності.
- Втрата свідомості не завжди має психіатричне походження.
- Статус інвалідності у пацієнтів із WPW слід переглядати на основі клінічних критеріїв.
- Діагностичні помилки мають важливі соціальні наслідки.
- Критерії оцінки інвалідності мають бути стандартизовані.

Історичний та перспективний контекст:

- WPW часто проявляється під час загальної анестезії.
- У минулому аритмії часто помилково трактували як епілептичні напади.
- Інвалідність у пацієнтів із WPW має переважно кардіологічну природу.

- Детальна медична історія доповнює сучасні діагностичні підходи та сприяє точнішій оцінці стану пацієнта.

Список літератури

1. Черенко Л.М. Диференційна діагностика епілептичних та аритмогенних нападів // Неврологія та психіатрія. – 2020. – №3. – С. 33–37.
2. Білоус В.Ф. Синдром Вольфа–Паркінсона–Уайта: клінічні та діагностичні аспекти // Український кардіологічний журнал. – 2019. – №2. – С. 47–52.
3. Білецький В.С. Постреанімаційна енцефалопатія: патогенез та підходи до корекції // Практична ангіологія. – 2021. – №1. – С. 28–35.
4. Миронюк І.М. Кардіоневрологічна коморбідність: проблеми сучасної практики // Медичні перспективи. – 2018. – №2. – С. 19–24.
5. Козак М.В. Порушення провідності серця: дитяча кардіологія та клінічні випадки // Педіатрія. – 2017. – №1. – С. 13–17.
6. Паламарчук В.Є. Вегетативні розлади в структурі аритмічного синдрому // Міжнародний неврологічний журнал. – 2022. – №5. – С. 55–60.
7. Семенюк О.В. Багатопрофільний підхід у пацієнтів із кардіоневрологічними проявами // Сучасна неврологія. – 2020. – №4. – С. 41–46.
8. Міністерство охорони здоров'я України. Наказ №152 від 17.04.2014 “Про затвердження клінічних протоколів надання медичної допомоги за спеціальністю Кардіологія”. – Київ: МОЗ України, 2014.
9. Гриневич Н.О. Медико-соціальна експертиза за новими підходами до коморбідності // Соціальна медицина. – 2023. – №1. – С. 12–16.
10. Kusumoto F.M. Clinical Cardiac Electrophysiology. – 5th ed. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2021.
11. Josephson M.E. Clinical Cardiac Electrophysiology: Techniques and Interpretations. – 5th ed. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2016.
12. Zipes D.P., Jalife J. Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside. – 7th ed. – Philadelphia: Elsevier, 2018.
13. Wellens H.J.J. The ECG in WPW Syndrome. – Cardiotext Publishing, 2010.
14. Blomström-Lundqvist C., et al. 2019 ESC Guidelines for the Management of Patients with Supraventricular Tachycardia // Eur Heart J. – 2019. – 40(38). – P. 3812–3841.
15. Santinelli V., et al. Electrophysiology of Accessory Pathways // J Interv Card Electrophysiol. – 2015. – 43(1). – P. 25–35.
16. Calkins H., et al. Catheter Ablation of Accessory Pathways // Circulation. – 2009. – 119(5). – P. e21–e77.

Зміст

[EN_2]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Clinical Case of Wolf–Parkinson–White Syndrome

Abstract

A complex clinical case is described involving a female patient with congenital Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome complicated by critical aortic valve stenosis and paroxysmal tachycardia. The clinical manifestations mimicked epilepsy, which created significant diagnostic challenges. It was determined that the combination of supraventricular tachycardia involving an atrioventricular reentrant circuit (AVRT) in a patient with critical aortic stenosis led to transient decreases in cardiac output and cerebral hypoperfusion, resulting in seizure-like episodes and loss of consciousness [1-3].

The case highlights a misinterpretation of postoperative symptoms following appendectomy complicated by clinical death, which led to the prescription of

antiepileptic therapy without appropriate cardiological examination [4]. Despite a confirmed diagnosis of WPW syndrome, the patient was granted disability status based on a psychiatric profile [5].

A retrospective analysis revealed an underestimation of the role of congenital cardiac conduction disorders in the development of seizures, loss of consciousness, and autonomic symptoms [6, 7].

Special attention is drawn to the importance of minimal intraoperative monitoring (ECG, pulse oximetry, arterial pressure), which is essential for the timely detection of arrhythmias and hypoxia, as well as the necessity of a multidisciplinary approach to diagnosis and the revision of medical and social expertise decisions with consideration of cardiological findings [8, 9].

Keywords: Wolff–Parkinson–White syndrome; arrhythmia; epileptiform seizures; appendectomy; multidisciplinary diagnostics; post-resuscitation encephalopathy; differential diagnosis.

Introduction

Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome is a congenital cardiac conduction disorder caused by the presence of an accessory pathway (Kent bundle), which leads to premature ventricular excitation and may result in paroxysmal tachycardia, including atrioventricular reentrant tachycardia (AVRT). Although AVRT is typically not life-threatening, it responds well to treatment with adenosine triphosphate (ATP) and β -blockers [2, 5].

At the age of 15, the patient underwent appendectomy under general anesthesia, during which WPW syndrome was not diagnosed. The official diagnosis of WPW was made at the age of 16 and confirmed at 19 [1, 6]. Between the ages of 27 and 30, her clinical condition was mistakenly interpreted as epilepsy, while the symptoms were actually caused by paroxysmal tachycardia associated with WPW syndrome.

Arrhythmias in WPW may mimic epileptic seizures, creating significant diagnostic challenges [4]. Autonomic crises and cerebral hypoxia complicate the clinical picture, particularly in young patients [3, 7]. Misinterpretation of these symptoms often leads to unjustified psychiatric classification of patients and corresponding social consequences [9].

Given the frequent diagnostic errors and fragmented management of patients with WPW, a multidisciplinary approach is essential, along with increasing medical professionals' awareness of the syndrome's characteristics [8]. It is particularly important to ensure minimal intraoperative monitoring (ECG, pulse oximetry, arterial pressure) for the timely detection of arrhythmias and prevention of hypoxia.

Research Objective

A comprehensive analysis of a clinical case involving a female patient with Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome complicated by aortic stenosis and epileptiform manifestations, with emphasis on the impact of surgical intervention on the course of the disease and on diagnostic challenges.

Research Tasks:

- To conduct a differential diagnosis between paroxysmal arrhythmias in WPW and epileptic seizures in order to refine therapeutic strategies and social support [1, 6].
- To analyze the interrelation between appendectomy, the manifestation of WPW, and a misdiagnosed psychiatric disorder [4, 7].
- To evaluate the consequences of carbamazepine administration in the absence of confirmed epilepsy [3, 7].
- To investigate anesthesia as a potential trigger for neurological complications in WPW [3].
- To examine the pathogenetic connection between WPW, autonomic dysfunction, epileptiform manifestations, and syncopal conditions [1, 6].
- To emphasize the necessity of revising approaches to medical and social expertise, given the occurrence of erroneous psychiatric conclusions and delayed detection of WPW [7, 9].
- To substantiate the use of temperature provocation testing as an additional diagnostic tool in cases of uncertain neurological symptomatology [1].

In conclusion, the study aims to deepen understanding of WPW comorbid pathology, to improve diagnostic approaches, and to optimize therapeutic strategies within the framework of interdisciplinary management.

Materials and Methods

Object of the Study

The object of this study is a female patient born in 1975 diagnosed with Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome. The aim of the study is to analyze the clinical course of the disease since adolescence, emphasizing the interaction between cardiac and neurological symptoms, as well as the influence of prior surgical interventions [3, 4].

At the age of 15, the patient underwent an appendectomy. Following the surgical procedure, she experienced recurrent episodes of transient loss of consciousness accompanied by generalized tonic–clonic seizures. Despite the lack of surgical records from that period, retrospective analysis indicates a high probability of perioperative cardiac arrest or a severe bradyarrhythmic episode. Such a condition likely led to transient circulatory failure and cerebral hypoxia. Hypoxic episodes of this type are well-known triggers for long-term neurological complications that often mimic epileptic syndromes. In this patient, these events manifested clinically as sudden syncopal episodes, marked dyspnea, convulsions,

and postictal disorientation — symptoms that were initially difficult to distinguish from idiopathic epilepsy [3].

The initial diagnosis of WPW syndrome was established in 1991, when the patient was 16 years old, at the N.K. Krupskaya Research Institute for Child and Adolescent Health (Kharkiv). The diagnosis was primarily based on electrocardiographic findings demonstrating pre-excitation patterns typical of the presence of an accessory atrioventricular conduction pathway. Final confirmation was obtained in 1994 at the L.T. Mala Institute of Therapy, National Academy of Medical Sciences of Ukraine, when the patient was 19 years old. This confirmation played a crucial role in differentiating primary cardiac pathology from secondary neurological manifestations associated with hypoxic brain injury. The progressive accumulation of clinical data is critical for retrospective assessment of the disease dynamics and allows tracing how early cardiac complications and perioperative events influenced the patient's subsequent neurological state [2].

Thus, this clinical case provides a unique opportunity to study the multifactorial interaction between surgical history, cardiac conduction abnormalities, and neurological outcomes. It emphasizes the need for an integrated diagnostic approach that involves collaboration between cardiologists and neurologists to interpret overlapping symptoms, ensure accurate risk stratification, and develop an individualized treatment plan for patients with WPW syndrome.

Given the complexity of the clinical picture and the combination of electrophysiological and neurological disorders, further analysis required multilevel investigations aimed at confirming functional disturbances and evaluating their impact on the patient's somatic and psycho-emotional state. The comprehensive approach adhered to the principles of evidence-based medicine, ensuring an integrated understanding of the pathogenesis and dynamics of the disease.

To obtain a reliable clinical assessment, five methodological groups were applied:

- **Electrophysiological studies** — electrocardiography, Holter monitoring, and electroencephalography, which made it possible to detect rhythm disturbances and alterations in brain activity.
- **Neuroimaging methods** — MRI and CT scans of the brain to identify structural abnormalities (such as meningioma and post-ischemic lesions).
- **Cardiological assessment methods** — echocardiography, bicycle ergometry, and blood pressure monitoring, which determined the interrelationship between cardiac and neurogenic disturbances.
- **Biochemical and hormonal studies** — analyses of electrolytes, hormones, and neurotransmitters that clarified the metabolic aspects of the pathology.

- **Psychophysiological and behavioral assessment** — neuropsychological testing and anxiety/aggression scales aimed at evaluating behavioral and emotional changes.

The application of these methods made it possible to differentiate the underlying causes of disorders, develop an individualized treatment strategy, and establish an optimal balance between pharmacological, rehabilitative, and psychosocial interventions.

The diagnostic framework is based on the values obtained from each methodological group according to descriptive and quantitative criteria consistent with established clinical standards (Table 1).

1. Diagnostic Methods

Method Group	Description and Significance
Anamnestic	Reconstruction of the disease course since childhood, identification of the relationship between appendectomy, hypoxia, and clinical manifestations.
Instrumental	ECG*, Holter monitoring, echocardiography — clarification of cardiac electrical activity, rhythm disturbances, and hemodynamic parameters.
Neurological Assessment	Video-EEG**, temperature challenge test, and analysis of autonomic reactions — differentiation of epilepsy from arrhythmogenic seizures.
Analytical	Clinical and pathogenetic synthesis of symptoms to establish cause-and-effect relationships.
Mathematical Modeling	Calculation of hypoxia indices, pressure gradients, and heart rate variability — quantitative risk and prognosis assessment.

* ECG — electrocardiogram.

** EEG — electroencephalogram.

Source: Author's development.

Clinical observations

Clinical observation of the patient revealed that Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome manifested as a complex condition combining cardiological and neurological components. The key symptoms included recurrent paroxysmal tachycardia, syncopal episodes, convulsions, and autonomic dysfunction. Many of these signs remained latent or subtle until provoked by physiological stress or surgical interventions, complicating early diagnosis and often leading to inadequate initial management.

Analysis of the surgical history suggested that appendectomy during adolescence may have acted as a physiological trigger for the activation of latent WPW syndrome. Surgical stress combined with general anesthesia likely induced acute cerebral hypoxia, which was initially misinterpreted as a primary seizure disorder. Consequently, the patient was prescribed carbamazepine, an antiepileptic drug that proved ineffective and potentially harmful, as it can worsen atrioventricular conduction disturbances [3, 4].

Retrospective Analysis and Clinical Implications

The retrospective assessment highlights the necessity of a multilevel diagnostic approach in cases of ambiguous WPW presentations. This approach includes:

- Comprehensive documentation of the frequency and duration of syncopal and tachycardic episodes;
- Correlation of arrhythmic events with external physiological or emotional triggers;
- Detailed evaluation of autonomic nervous system disturbances using temperature-provocation tests and other functional studies;
- Implementation of an interdisciplinary framework integrating cardiology, neurology, psychiatry, and rehabilitation services to develop individualized treatment and support strategies.

Clinical and Social Outcomes

Applying this methodology enables clinicians to:

1. Prevent psychiatric misdiagnoses based on neurologically mediated symptoms;
2. Detect subclinical arrhythmias early and identify their associated neurological consequences;
3. Optimize therapeutic strategies, including targeted cardiological interventions;
4. Justify reassessment of disability status based on objective cardiological findings, particularly in patients who were previously misclassified under psychiatric categories [7, 9].

This clinical case highlights the complex interplay between early surgical interventions, latent Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome, and secondary neurological manifestations. It demonstrates that, without timely detection and interdisciplinary evaluation, the clinical presentation may be misinterpreted, delaying effective treatment. The findings underscore the importance of structured clinical pathways for managing patients exhibiting overlapping cardiological and neurological features, particularly when misdiagnosis may adversely affect long-term treatment outcomes and eligibility for social support.

Mathematical Models in Clinical Cardiology

Mathematical models in clinical cardiology formalize the electrophysiological processes of the heart, provide quantitative assessments of cardiac function, and predict the efficacy of therapeutic interventions. For patients with WPW syndrome, this modeling is particularly crucial due to the presence of an accessory conduction pathway between the atria and ventricles, which leads to premature ventricular excitation and increases the risk of supraventricular tachyarrhythmias.

Modern models enable the simulation of cardiac electrical activity at various levels:

- **Cellular ionic channel models** – describe depolarization and repolarization of cardiomyocytes, sodium, potassium, and calcium currents, and their interactions, which underlie the occurrence of extrasystoles and tachycardias [1, 2].
- **Tissue conduction models** – simulate the propagation of excitation through the atria, ventricles, and accessory pathways, assessing arrhythmia risk in WPW [3].
- **Organ-level and hemodynamic models** – integrate electrophysiology with cardiovascular parameters to evaluate the impact of pharmacological or invasive interventions, including catheter ablation [4].
- **Risk and prognostic models** – integrate clinical, ECG, and invasive data to assess the probability of life-threatening arrhythmias [5].

The integration of these models enables the creation of personalized digital heart simulations that replicate individual anatomical and electrophysiological characteristics as well as responses to therapy. Such models allow prediction of ablation outcomes and pharmacological interventions, risk assessment, and optimization of procedural parameters. Consequently, they support the development of personalized treatment plans for patients with WPW syndrome and related arrhythmias, enhancing the accuracy of clinical decisions and the safety of medical care.

1. Heart Rate During Tachycardia:

The calculation of heart rate (HR) is based on the measurement of the RR interval on an electrocardiogram (ECG) (Equation 1):

$$HR = \frac{60}{RR} \quad (1)$$

Where:

HR (Heart Rate) — ventricular heart rate, beats per minute (bpm);

60 — number of seconds in one minute (unit conversion);

RR — interval between two consecutive R-waves on the ECG, in seconds.

Source: [10, 11]

In patients with Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome, the development of paroxysmal tachycardia is accompanied by significant disturbances in cardiac rhythm, with heart rates potentially exceeding 180–220 beats per minute (bpm). In such cases, the diastolic period is markedly shortened, limiting coronary perfusion and leading to a reduction in cardiac output. Consequently, hemodynamic instability develops, manifested by arterial hypotension, dizziness, syncope, and myocardial ischemia.

The pathophysiological mechanism underlying this phenomenon is the presence of an accessory conduction pathway (Kent bundle), which causes premature ventricular depolarization and establishes conditions for reentrant

impulse circulation. Prolonged tachycardia at such rates may result in acute heart failure, atrial fibrillation, or even ventricular fibrillation, posing an immediate threat to the patient's life.

Therefore, timely diagnosis, electrophysiological assessment, and selection of antiarrhythmic therapy—including radiofrequency ablation of the accessory pathway—are crucial for preventing severe complications and stabilizing hemodynamic parameters.

2. PR Interval and QRS Duration:

Assessment of the PR interval and QRS complex duration constitutes one of the most essential electrocardiographic parameters for the diagnosis of Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome and the stratification of the associated arrhythmic risk. Accurate measurement of these intervals provides crucial insight into atrioventricular conduction dynamics and helps differentiate WPW from other supraventricular conduction abnormalities. The PR interval, defined as the time from the onset of the P wave to the beginning of the QRS complex, reflects the overall conduction time of electrical excitation traveling from the sinoatrial node through the atrial myocardium and the atrioventricular (AV) node before reaching the ventricles via the His–Purkinje system.

In patients with WPW syndrome, a characteristically shortened PR interval (<120 ms) is typically observed. This shortening arises from the presence of an accessory atrioventricular conduction pathway, known as the Kent bundle, which bypasses the normal physiological delay within the AV node and enables premature ventricular depolarization. As a result, the ventricles are activated earlier than usual, producing a distinctive delta wave on the ECG and contributing to the widening of the QRS complex. This early activation not only alters ventricular excitation patterns but also predisposes patients to reentrant tachyarrhythmias, emphasizing the clinical relevance of precise PR and QRS interval analysis in both diagnosis and risk assessment.

The QRS complex duration in these patients is often prolonged and exhibits a characteristic morphology with a delta wave at the onset of the complex. This reflects the simultaneous combination of early depolarization via the accessory pathway and conduction through the normal AV node. The morphology of the QRS complex allows localization of the accessory pathway (left-sided, right-sided, or septal), which is critical for planning interventional treatment, particularly catheter-based radiofrequency ablation (RFA).

Systematic analysis of the relationship between the PR interval and QRS duration also allows evaluation of ventricular electrophysiological activity and potential risks of tachyarrhythmias, including paroxysmal supraventricular tachycardia and ventricular fibrillation. Detection of characteristic changes in

these intervals facilitates differentiation of WPW from other forms of preexcitation and integrates ECG data into prognostic risk models.

Thus, detailed measurement and morphological analysis of PR and QRS intervals are essential steps in the electrophysiological evaluation of patients suspected of WPW. This ensures accurate risk stratification, justifies the selection of invasive or pharmacological therapy, and allows prediction of the clinical course of arrhythmias, which is directly relevant for reducing the risk of sudden cardiac death and tachyarrhythmia-related complications (Equation 2).

$$PR = t_{A-H} + t_{H-V}, \quad QRS = t_V \quad (2)$$

Where:

PR — from the onset of atrial depolarization to the onset of ventricular depolarization, ms.

t_{A-H} — conduction time from the atria to the AV node, ms.

t_{H-V} — conduction time from the AV node to the ventricles, ms.

QRS — ventricular depolarization duration, ms.

t_V — duration of ventricular depolarization, ms.

Source: [11, 12]

In WPW patients, the PR interval is typically shortened (<120 ms), whereas the QRS complex is widened (>110 ms), which are classic signs of preexcitation.

3. Effective Refractory Period of the Accessory Pathway (APERP):

The effective refractory period of the accessory pathway (APERP) is a key parameter in the electrophysiological assessment of Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome and other conduction disorders involving accessory pathways. APERP defines the minimum interval between two stimulations during which the accessory pathway can conduct an impulse without permitting reactivation of the atria or ventricles.

Clinically, this is highly significant: a short APERP is associated with an increased risk of paroxysmal supraventricular tachycardia and potentially life-threatening ventricular arrhythmias, including ventricular fibrillation.

To assess the risk of dangerous arrhythmias, APERP can be expressed as follows (Equation 3):

$$APERP = t_{\text{refractory}} \quad (3)$$

Where:

APERP — minimum interval (ms) during which the accessory pathway does not conduct a new impulse;

$t_{\text{refractory}}$ — measured refractory period, ms.

Source: [13, 14]

Formally, APERP is defined as the shortest S1–S2 interval during programmed atrial or ventricular stimulation in which the accessory pathway conducts an impulse to the ventricles without block.

Studies demonstrate that a short APERP (<250 ms in adults) is an independent predictor of dangerous arrhythmias, whereas a prolonged APERP (>300 ms) indicates a low risk of severe rhythm disturbances. APERP is also influenced by factors of the autonomic nervous system, electrolyte balance, use of antiarrhythmic drugs, and structural myocardial changes, emphasizing the need for a comprehensive, individualized approach to arrhythmia risk assessment.

4. Tachycardia Cycle Length (TCL):

The tachycardia cycle length (TCL) characterizes the time interval between two consecutive QRS complexes during tachycardia and reflects the rate of the heart's reentrant activation circuit. TCL is a critical parameter for understanding the mechanisms that sustain arrhythmia, particularly impulse circulation through accessory pathways or regions of the atria and ventricles.

Measuring TCL allows assessment of:

- Heart rate during tachycardia;
- Stability and persistence of the arrhythmic circuit;
- Risk of hemodynamic disturbances, including reduced cardiac output and myocardial ischemia;
- Potential effects of antiarrhythmic drugs on slowing or blocking impulse circulation.

TCL is also used in planning invasive interventions, particularly catheter radiofrequency ablation. Knowledge of the cycle length allows optimal selection of stimulation parameters and identification of critical conduction areas. Tachycardia cycle length serves as a useful prognostic marker: short TCL indicates more frequent myocardial activation, increased risk of ventricular arrhythmias, and a more severe clinical course.

Tachycardia cycle length is determined as the RR interval during arrhythmia (Equation 4):

$$TCL = t_{RR\_tachy} \quad (4)$$

Where:

TCL (Tachycardia Cycle Length) — duration of one tachycardia cycle, ms;

t_{RR_tachy} — RR interval during tachycardia, ms.

Source: [11, 15]

Shortened TCL correlates with an increased risk of dangerous arrhythmias, worsened hemodynamics, and poorer clinical prognosis, whereas prolonged cycle length is generally associated with a more stable arrhythmia course and lower risk of complications. Incorporating TCL into a comprehensive patient assessment allows individualization of treatment, including pharmacotherapy and the selection of catheter ablation strategies.

5. Efficacy of Radiofrequency Ablation:

Radiofrequency ablation (RFA) is the gold standard treatment for Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome and other conduction disorders involving accessory pathways. The efficacy of the procedure is determined by its ability to completely eliminate the pathological conduction pathway and prevent recurrent episodes of paroxysmal tachycardia.

Clinically effective RFA ensures:

- Normalization of electrocardiographic conduction;
- Elimination or significant reduction in the frequency of supraventricular tachycardia episodes;
- Reduction of the risk of ventricular arrhythmias, ventricular fibrillation, and sudden cardiac death.

The efficacy of radiofrequency ablation (RFA) is formally evaluated using the ratio (Equation 5):

$$P_{\text{success}} = \frac{N_{\text{abolished}}}{N_{\text{attempts}}} \times 100\% \quad (5)$$

Where:

P_{success} — procedure success rate, %;

$N_{\text{abolished}}$ — number of successfully ablated accessory pathways;

N_{attempts} — total number of ablation attempts.

Source: [14, 16]

Studies show that the efficacy of RFA in adult WPW patients exceeds 95%, while the risk of tachycardia recurrence after a properly performed procedure remains low (<5%). Key factors influencing ablation success include the location of the accessory pathway, anatomical features of the myocardium, prior pharmacological treatment, and the electrophysiologist's expertise.

Assessment of RFA efficacy is not limited to electrophysiological parameters. It also includes analysis of the patient's clinical condition post-procedure, absence of recurrent tachycardia episodes, and normalization of cardiac function during follow-up. This comprehensive approach allows evaluation of both the technical success of the intervention and the long-term clinical benefit for the patient.

Clinical Context

Mathematical models of electrophysiological processes have practical significance in clinical cardiology, as they allow quantitative assessment of arrhythmogenic load, evaluation of the risk of syncope and hemodynamic instability, and justification of the strategy and timing for radiofrequency ablation (RFA). The use of such models is particularly important in patients with Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome, where ventricular pre-excitation via an accessory pathway can lead to paroxysmal tachyarrhythmias, manifesting as palpitations, dizziness, syncope, and risk of sudden cardiac death.

Quantitative parameters calculated using these models allow the assessment of critical thresholds that determine the need for intervention. The constants used (60 for converting seconds to minutes, 1000 for milliseconds to seconds, normal limits for PR, QRS, and APERP intervals) are based on international electrophysiological standards, ensuring reproducibility and compliance with clinical protocols.

Thus, these models integrate electrophysiological data into clinical practice, facilitating the optimization of diagnosis and treatment for patients with WPW.

1. *Congenital conduction disorder – WPW syndrome:*

- ***Mechanism:*** The Kent bundle creates an accessory atrioventricular pathway, allowing electrical impulses to bypass the AV node.
- ***Consequences:*** Development of re-entry tachycardia, increased risk of supraventricular and ventricular arrhythmias.
- ***Clinical manifestations:*** Paroxysms of tachycardia, which may remain unnoticed until provoked (stress, surgery, medications).

2. *Arrhythmia and transient cerebral ischemia:*

- ***Mechanism:*** Surgical stress or anesthesia can provoke arrhythmia or transient cardiac arrest.
- ***Consequences:*** Reduced cardiac output and cerebral perfusion, pre- and post-hypoxic changes.
- ***Clinical manifestations:*** Temporary loss of consciousness, weakness, cognitive impairment.

3. *Postoperative neurological manifestations:*

- ***Mechanism:*** Cerebral hypoxia triggers epileptiform neuronal activity and autonomic crises.
- ***Consequences:*** Convulsive episodes and syncopal attacks, mimicking epilepsy.
- ***Clinical manifestations:*** Generalized seizures, cardio-autonomic symptoms.

4. *Misdiagnosis in young adulthood:*

- ***Mechanism:*** Lack of comprehensive cardiological evaluation leads to misinterpretation of seizures as epilepsy.
- ***Consequences:*** Carbamazepine administration increases the risk of ventricular arrhythmias in WPW patients.
- ***Clinical manifestations:*** Exacerbation of tachycardia, recurrent seizures, syncopal episodes.

5. *Progression of cardiac complications:*

- ***Mechanism:*** Chronic arrhythmia and recurrent tachycardias promote structural cardiac changes and cerebral hypoxia.
- ***Consequences:*** Vicious cycle: arrhythmia → hypoxia → seizures → arrhythmia exacerbation.

- **Clinical manifestations:** Frequent syncopal episodes, deterioration of cognitive and physical function.

6. **Chronic autonomic dysfunction and social consequences:**

- **Mechanism:** Prolonged arrhythmia combined with a misdiagnosed psychiatric condition causes autonomic imbalance.
- **Consequences:** Delay in targeted treatment, psycho-emotional burden, social maladaptation.
- **Clinical manifestations:** Fatigue, fear of new crises, social isolation.

This pathophysiological cascade demonstrates a close interplay between congenital conduction abnormalities, surgical stress, cerebral hypoxia, and secondary neurological complications. The key requirement is early multidisciplinary assessment (cardiologist, neurologist, anesthesiologist, psychiatrist) to prevent chronic complications and minimize long-term consequences.

Results

The clinical case of a female patient born in 1975 illustrates a complex course of Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome with pronounced neurological, autonomic, and cardiological manifestations that remained underestimated for a prolonged period. Since childhood, she experienced episodes of palpitations, dyspnea, and arrhythmias, indicating latent conduction disturbances combined with autonomic dysregulation, which contributed to hidden neurological symptoms and complicated early diagnosis.

In 1990, at the age of 15, following an appendectomy under general anesthesia, a probable episode of transient circulatory arrest occurred, resulting in repeated loss of consciousness, generalized seizures, and paroxysmal tachycardia. These manifestations were likely secondary to perioperative hypoxia, emphasizing the role of perioperative insults as triggers for latent WPW.

In 1991, during an examination at the State Institution “Research Institute of Child and Adolescent Health named after N.K. Krupskaya” (Kharkiv) at age 16, the patient was first diagnosed with WPW syndrome. The diagnosis was confirmed in 1994 at the L.T. Mali National Institute of Therapy (National Academy of Medical Sciences of Ukraine) when the patient reached 19 years of age. Echocardiographic evaluation revealed critical aortic valve stenosis with a pressure gradient of 99.2 mmHg, first-degree mitral valve prolapse, mitral regurgitation, and early-stage chronic heart failure (stage I). These structural heart changes, combined with additional atrioventricular conduction pathways, contributed to the development of a complex and overlapping clinical phenotype in adulthood.

Between 2002 and 2005, the patient was erroneously diagnosed with “epilepsy” despite underlying cardiological pathology, without the use of EEG or

neuroimaging. Administration of carbamazepine, contraindicated in WPW, exacerbated arrhythmias and led to cognitive impairments, illustrating the consequences of misinterpreting cardiogenic syncope as a primary neurological or psychiatric condition.

In 2025, at age 50, comprehensive assessment confirmed the presence of delta waves, an accessory conduction pathway, and AVRT, post-hypoxic cognitive deficits, and persistent exertional dyspnea. The absence of archived surgical documentation indicates gaps in perioperative monitoring.

Structured presentation of the data enhances clarity, scientific validity of conclusions, and facilitates further analysis of cardiological parameters (Table 2).

2. Chronology of Clinical Events, Diagnosis, and Treatment

Year	Event / Diagnosis	Main Symptoms	Diagnostic Methods	Treatment / Outcome
1990	Appendectomy	Loss of consciousness, seizures	Archival surgical records unavailable	Probable circulatory arrest, post-hypoxic changes
1991	Initial WPW syndrome diagnosis	Palpitations, dyspnea, tachycardia	ECG, clinical evaluation	Pharmacotherapy according to contemporary standards
1994	Diagnosis confirmation	Palpitations, dyspnea, tachycardia	ECG, echocardiography	Outpatient monitoring, non-invasive cardiological intervention
2002–2005	Erroneous “epilepsy” diagnosis	Seizures, loss of consciousness	No EEG or neuroimaging performed	Carbamazepine → exacerbation of arrhythmia, cognitive impairments
2025	Comprehensive reassessment	Paroxysms, syncopal episodes, autonomic symptoms	ECG, EEG, thermoprobe testing	AVRT* confirmed, vagal hyperreactivity identified, carbamazepine discontinued

*AVRT — atrioventricular reentrant tachycardia.

Source: Author’s elaboration

The case progression highlights the interplay between latent conduction disturbances, perioperative triggers, autonomic dysregulation, and secondary neurological manifestations. Analysis of symptoms, diagnostics, and therapeutic responses allows reconstruction of the pathogenetic sequence, considering structural heart changes, conduction system activity, and arrhythmia characteristics.

The data provide a comprehensive overview of the long-term course of WPW in this patient, demonstrate the impact of the 1990 surgical intervention as a trigger for severe cardio-neurological complications, and underscore the need to reassess previous diagnoses, as well as the patient’s social and disability status, particularly following unwarranted psychiatric evaluation.

Discussion

Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome is a congenital cardiac conduction disorder characterized by the presence of an accessory atrioventricular pathway (Kent bundle), which allows impulses to bypass the AV node. This often leads to paroxysmal tachycardias and potentially life-threatening arrhythmias, including sudden cardiac arrest. One serious consequence is acute cerebral hypoxia, which can secondarily provoke epileptic manifestations.

In the presented clinical case, cardiological and neurological symptoms coexisted, complicating the diagnostic process, particularly in the absence of complete medical documentation regarding previous arrhythmic episodes. It is crucial to differentiate psychiatric, cardiological, and hypoxia-induced manifestations, as misinterpretation may lead to incorrect conclusions and inadequate treatment.

Accurate diagnosis of WPW requires a multidisciplinary team, including a cardiologist, neurologist, and electrophysiologist. Paroxysmal tachycardias can mimic epileptic manifestations, including seizures and loss of consciousness, often resulting in diagnostic errors. Up to 30% of WPW cases may be misinterpreted as epilepsy, especially when objective cardiological data are lacking.

Incorrect psychiatric conclusions complicate patient management: prescribing antiepileptic drugs without cardiological evaluation can exacerbate arrhythmia and increase the risk of ventricular disturbances. In this case, provocative tests revealed autonomic instability, confirming the involvement of the autonomic nervous system.

WPW syndrome may be activated after surgery or general anesthesia, which in this case mimicked epileptic manifestations and led to an incorrect diagnosis. Effective treatment is radiofrequency catheter ablation of the accessory pathway, which reduces the risk of recurrent tachycardias and sudden cardiac arrest.

The absence of complete medical documentation underscores the need for independent medico-social assessment to evaluate the severity of the condition and entitlement to disability benefits. Frequent syncopal episodes with tachycardia and secondary neurological manifestations constitute grounds for official recognition of disability, considering both the cardiological and neurological nature of the condition.

This case demonstrates the close interrelation between cardiac arrhythmia, cerebral hypoxia, and secondary neurological complications, emphasizing the importance of early multidisciplinary evaluation and a cautious approach to prescribing antiepileptic or psychiatric interventions.

Conclusions

Clinical aspects:

- Symptoms of Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome often mimic epileptic manifestations.
- The combination of WPW with aortic valve stenosis significantly increases the risk of fatal outcomes.
- Post-hypoxic epilepsy may develop after cardiac arrest.
- Administration of antiepileptic therapy without ECG monitoring may be harmful.
- Surgical interventions, including appendectomy, can act as triggers or provoke exacerbation of WPW manifestations.

Diagnosis and treatment:

- Close collaboration between cardiologists and neurologists is essential.
- Early correction of disturbances helps prevent severe complications.
- Causes of syncope must be clearly differentiated.
- Temperature-based tests can detect dysfunctions of the autonomic nervous system.
- Therapeutic interventions should be initiated only after comprehensive cardiological evaluation.

Medico-social aspects:

- Objective assessment is critically important for determining disability status.
- Loss of consciousness is not always of psychiatric origin.
- Disability status in patients with WPW should be reviewed based on clinical criteria.
- Diagnostic errors have significant social consequences.
- Disability assessment criteria should be standardized.

Historical and prospective context:

- WPW is often manifested during general anesthesia.
- Historically, arrhythmias were frequently misinterpreted as epileptic seizures.
- Disability in patients with WPW predominantly has a cardiological basis.
- A detailed medical history complements modern diagnostic approaches and contributes to more accurate patient assessment.

References

1. Cherenko L.M. Differential Diagnosis of Epileptic and Arrhythmogenic Seizures // Neurology and Psychiatry. – 2020. – №3. – P. 33–37.
2. Bilous V.F. Wolff–Parkinson–White Syndrome: Clinical and Diagnostic Aspects // Ukrainian Journal of Cardiology. – 2019. – №2. – P. 47–52.
3. Biletskyi V.S. Post-Resuscitation Encephalopathy: Pathogenesis and Approaches to Correction // Practical Angiology. – 2021. – №1. – P. 28–35.
4. Myroniuk I.M. Cardioneurological Comorbidity: Problems of Modern Practice // Medical Perspectives. – 2018. – №2. – P. 19–24.

5. Kozak M.V. Cardiac Conduction Disorders: Pediatric Cardiology and Clinical Cases // Pediatrics. – 2017. – №1. – P. 13–17.
6. Palamarchuk V.Ye. Autonomic Disorders in the Structure of Arrhythmic Syndrome // International Neurological Journal. – 2022. – №5. – P. 55–60.
7. Semeniuk O.V. Multidisciplinary Approach in Patients with Cardioneurological Manifestations // Modern Neurology. – 2020. – №4. – P. 41–46.
8. Ministry of Health of Ukraine. Order №152 dated 17.04.2014 “On Approval of Clinical Protocols for Medical Care in the Specialty of Cardiology”. – Kyiv: Ministry of Health of Ukraine, 2014.
9. Hrynevych N.O. Medico-Social Expertise under New Approaches to Comorbidity // Social Medicine. – 2023. – №1. – P. 12–16.
10. Kusumoto F.M. Clinical Cardiac Electrophysiology. – 5th ed. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2021.
11. Josephson M.E. Clinical Cardiac Electrophysiology: Techniques and Interpretations. – 5th ed. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2016.
12. Zipes D.P., Jalife J. Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside. – 7th ed. – Philadelphia: Elsevier, 2018.
13. Wellens H.J.J. The ECG in WPW Syndrome. – Cardiotext Publishing, 2010.
14. Blomström-Lundqvist C., et al. 2019 ESC Guidelines for the Management of Patients with Supraventricular Tachycardia // European Heart Journal. – 2019. – 40(38). – P. 3812–3841.
15. Santinelli V., et al. Electrophysiology of Accessory Pathways // Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology. – 2015. – 43(1). – P. 25–35.
16. Calkins H., et al. Catheter Ablation of Accessory Pathways // Circulation. – 2009. – 119(5). – P. e21–e77.

[ES_2]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Caso clínico del síndrome de Wolf–Parkinson–White

Resumen

Se describe un caso clínico complejo de una paciente con síndrome congénito de Wolff–Parkinson–White (WPW), complicado por estenosis crítica de la válvula aórtica y taquicardia paroxística. Las manifestaciones clínicas imitaban la epilepsia, lo que generó importantes dificultades diagnósticas. Se determinó que la combinación de taquicardia supraventricular con participación de un circuito de reentrada auriculoventricular (AVRT) en una paciente con estenosis aórtica crítica condujo a una disminución transitoria del gasto cardíaco y a hipoperfusión cerebral, provocando episodios similares a crisis epilépticas y pérdida de conciencia [1–3].

El caso pone de relieve la interpretación errónea de los síntomas posoperatorios tras una apendicectomía complicada por muerte clínica, lo que llevó a la prescripción

de tratamiento antiepiléptico sin la realización de una evaluación cardiológica adecuada [4]. A pesar del diagnóstico confirmado de síndrome de WPW, a la paciente se le concedió un estatus de discapacidad sobre la base de un perfil psiquiátrico [5].

El análisis retrospectivo reveló una subestimación del papel de los trastornos congénitos de la conducción cardíaca en el desarrollo de crisis, pérdida de conciencia y síntomas autonómicos [6,7].

Se hace especial hincapié en la importancia del monitoreo intraoperatorio mínimo (ECG, oximetría de pulso, presión arterial), esencial para la detección oportuna de arritmias e hipoxia, así como en la necesidad de un enfoque multidisciplinario del diagnóstico y la revisión de las decisiones de peritaje médico y social considerando los hallazgos cardiológicos [8,9].

Palabras clave: síndrome de Wolff–Parkinson–White; arritmia; crisis epileptiformes; apendicectomía; diagnóstico multidisciplinario; encefalopatía postresucitación; diagnóstico diferencial.

Introducción

El síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) es un trastorno congénito de la conducción cardíaca causado por la presencia de una vía accesorio (haz de Kent), que provoca una excitación ventricular prematura y puede dar lugar a taquicardia paroxística, incluyendo la taquicardia por reentrada auriculoventricular (AVRT). Aunque la AVRT no suele poner en peligro la vida, responde favorablemente al tratamiento con adenosín trifosfato (ATP) y β -bloqueadores [2,5].

A los 15 años, la paciente fue sometida a una apendicectomía bajo anestesia general, durante la cual no se diagnosticó el síndrome de WPW. El diagnóstico oficial se estableció a los 16 años y se confirmó a los 19 [1,6]. Entre los 27 y 30 años, su estado clínico fue erróneamente interpretado como epilepsia, cuando en realidad los síntomas se debían a taquicardia paroxística asociada al síndrome de WPW.

Las arritmias en el contexto del WPW pueden imitar crisis epilépticas, lo que genera importantes dificultades diagnósticas [4]. Las crisis autonómicas y la hipoxia cerebral complican aún más el cuadro clínico, especialmente en pacientes jóvenes [3,7]. La interpretación errónea de estos síntomas con frecuencia conduce a una clasificación psiquiátrica injustificada de los pacientes y a las correspondientes consecuencias sociales [9].

Dada la frecuencia de los errores diagnósticos y la gestión fragmentada de los pacientes con WPW, resulta esencial un enfoque multidisciplinario, junto con el aumento de la concienciación del personal médico sobre las características del síndrome [8]. Es particularmente importante garantizar un monitoreo intraoperatorio

mínimo (ECG, oximetría de pulso, presión arterial) para la detección oportuna de arritmias y la prevención de la hipoxia.

Objetivo de la investigación

Realizar un análisis integral de un caso clínico de una paciente con síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), complicado por estenosis aórtica y manifestaciones epileptiformes, con especial atención al impacto de la intervención quirúrgica en la evolución de la enfermedad y en las dificultades diagnósticas.

Tareas de la investigación:

- Realizar un diagnóstico diferencial entre las arritmias paroxísticas en el síndrome de WPW y las crisis epilépticas, con el fin de perfeccionar las estrategias terapéuticas y el apoyo social [1,6].
- Analizar la interrelación entre la apendicectomía, la manifestación del WPW y un trastorno psiquiátrico diagnosticado erróneamente [4,7].
- Evaluar las consecuencias de la administración de carbamazepina en ausencia de epilepsia confirmada [3,7].
- Investigar la anestesia como posible desencadenante de complicaciones neurológicas en el síndrome de WPW [3].
- Examinar la relación patogenética entre WPW, disfunción autonómica, manifestaciones epileptiformes y estados sincopales [1,6].
- Destacar la necesidad de revisar los enfoques de la pericia médica y social ante la presencia de conclusiones psiquiátricas erróneas y la detección tardía del WPW [7,9].
- Fundamentar el uso de la prueba de provocación térmica como herramienta diagnóstica complementaria en casos de sintomatología neurológica incierta [1].

En conclusión, el estudio tiene como objetivo profundizar la comprensión de la patología comórbida del síndrome de WPW, mejorar los enfoques diagnósticos y optimizar las estrategias terapéuticas dentro del marco de la gestión interdisciplinaria.

Materiales y métodos

Objeto del estudio

El objeto de este estudio es una paciente nacida en 1975, diagnosticada con síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW). El propósito de la investigación es analizar la evolución clínica de la enfermedad desde la adolescencia, haciendo hincapié en la interacción entre los síntomas cardíacos y neurológicos, así como en la influencia de intervenciones quirúrgicas previas [3,4].

A los 15 años, la paciente fue sometida a una apendicectomía. Tras la intervención quirúrgica, presentó episodios recurrentes de pérdida transitoria de la conciencia acompañados de convulsiones tónico–clónicas generalizadas. Aunque no se conservan los registros quirúrgicos de aquella época, el análisis retrospectivo

indica una alta probabilidad de paro cardíaco perioperatorio o un episodio bradiarrítmico grave. Esta condición probablemente condujo a una insuficiencia circulatoria transitoria y a hipoxia cerebral. Episodios hipóxicos de este tipo son reconocidos desencadenantes de complicaciones neurológicas a largo plazo que suelen imitar los síndromes epilépticos. En esta paciente, dichos eventos se manifestaron clínicamente como episodios sincopales súbitos, disnea marcada, convulsiones y desorientación postictal, síntomas inicialmente difíciles de distinguir de una epilepsia idiopática [3].

El diagnóstico inicial del síndrome de WPW se estableció en 1991, cuando la paciente tenía 16 años, en el Instituto de Investigación de Salud Infantil y Adolescente N.K. Krupskaya (Járkiv). El diagnóstico se basó principalmente en hallazgos electrocardiográficos que mostraban patrones de preexcitación característicos de la presencia de una vía accesorio de conducción auriculoventricular. La confirmación definitiva se obtuvo en 1994 en el Instituto de Terapia L.T. Mala de la Academia Nacional de Ciencias Médicas de Ucrania, cuando la paciente tenía 19 años. Esta confirmación fue crucial para diferenciar la patología cardíaca primaria de las manifestaciones neurológicas secundarias asociadas a la lesión cerebral hipóxica. La acumulación progresiva de datos clínicos resultó fundamental para la evaluación retrospectiva de la dinámica de la enfermedad y permitió rastrear cómo las complicaciones cardíacas tempranas y los eventos perioperatorios influyeron en el estado neurológico posterior de la paciente [2].

Este caso clínico ofrece, por tanto, una oportunidad única para estudiar la interacción multifactorial entre los antecedentes quirúrgicos, las alteraciones de la conducción cardíaca y las consecuencias neurológicas. Subraya la necesidad de un enfoque diagnóstico integrado que implique la colaboración entre cardiólogos y neurólogos para interpretar síntomas superpuestos, garantizar una estratificación precisa del riesgo y desarrollar un plan terapéutico individualizado para pacientes con síndrome de WPW.

Dada la complejidad del cuadro clínico y la combinación de trastornos electrofisiológicos y neurológicos, el análisis adicional requirió investigaciones multinivel destinadas a confirmar las alteraciones funcionales y evaluar su impacto en el estado somático y psicoemocional de la paciente. El enfoque integral se basó en los principios de la medicina basada en la evidencia, garantizando una comprensión global de la patogénesis y de la dinámica de la enfermedad.

Para obtener una evaluación clínica fiable, se aplicaron cinco grupos metodológicos:

- **Estudios electrofisiológicos** — electrocardiografía, monitorización Holter y electroencefalografía, que permitieron detectar alteraciones del ritmo y de la actividad cerebral.
- **Métodos de neuroimagen** — resonancia magnética (RM) y tomografía computarizada (TC) cerebral para identificar anomalías estructurales (como meningioma o lesiones postisquémicas).
- **Métodos de evaluación cardiológica** — ecocardiografía, ergometría en bicicleta y control de la presión arterial, que determinaron la interrelación entre las alteraciones cardíacas y neurogénicas.
- **Estudios bioquímicos y hormonales** — análisis de electrolitos, hormonas y neurotransmisores, que aclararon los aspectos metabólicos de la patología.
- **Evaluación psicofisiológica y conductual** — pruebas neuropsicológicas y escalas de ansiedad/agresividad, destinadas a valorar los cambios conductuales y emocionales.

La aplicación de estos métodos permitió diferenciar las causas subyacentes de los trastornos, desarrollar una estrategia terapéutica individualizada y establecer un equilibrio óptimo entre las intervenciones farmacológicas, rehabilitadoras y psicosociales.

El marco diagnóstico se basa en los valores obtenidos de cada grupo metodológico, de acuerdo con criterios descriptivos y cuantitativos consistentes con los estándares clínicos establecidos (Tabla 1).

Tabla 1. Métodos diagnósticos

Grupo metodológico	Descripción y Significado
Anamnético	Reconstrucción del curso de la enfermedad desde la infancia, identificación de la relación entre la apendicectomía, hipoxia y manifestaciones clínicas.
Instrumental	ECG*, monitorización Holter, ecocardiografía: aclaración de la actividad eléctrica cardíaca, alteraciones del ritmo y parámetros hemodinámicos.
Evaluación neurológica	Video-EEG**, prueba de desafío térmico y análisis de las reacciones autonómicas: diferenciación de la epilepsia de las crisis arrítmicas.
Analítico	Síntesis clínica y patogenética de los síntomas para establecer relaciones causales.
Modelización matemática	Cálculo de los índices de hipoxia, gradientes de presión y variabilidad de la frecuencia cardíaca: evaluación cuantitativa del riesgo y pronóstico.

* ECG — electrocardiograma.

** EEG — electroencefalograma.

Fuente: Desarrollo del autor.

Observaciones clínicas

La observación clínica de la paciente reveló que el síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) se manifestó como una condición compleja que combina

componentes cardiológicos y neurológicos. Los síntomas clave incluyeron taquicardia paroxística recurrente, episodios sincopales, convulsiones y disfunción autonómica. Muchos de estos signos permanecieron latentes o sutiles hasta ser provocados por estrés fisiológico o intervenciones quirúrgicas, lo que complicó el diagnóstico temprano y condujo con frecuencia a un manejo inicial inadecuado.

El análisis de los antecedentes quirúrgicos sugirió que la apendicectomía durante la adolescencia pudo haber actuado como un desencadenante fisiológico para la activación del síndrome latente de WPW. El estrés quirúrgico combinado con la anestesia general probablemente indujo hipoxia cerebral aguda, que inicialmente fue malinterpretada como un trastorno convulsivo primario. Como consecuencia, se prescribió carbamazepina, un fármaco antiepiléptico que resultó ineficaz y potencialmente perjudicial, ya que puede empeorar los trastornos de la conducción auriculoventricular [3, 4].

Análisis retrospectivo e implicaciones clínicas

La evaluación retrospectiva resalta la necesidad de un enfoque diagnóstico multinivel en casos con presentaciones ambiguas de WPW. Este enfoque incluye:

- Documentación completa de la frecuencia y duración de los episodios sincopales y taquicárdicos;
- Correlación de los eventos arítmicos con desencadenantes fisiológicos o emocionales externos;
- Evaluación detallada de las alteraciones del sistema nervioso autónomo mediante pruebas de provocación térmica y otros estudios funcionales;
- Implementación de un marco interdisciplinario que integre cardiología, neurología, psiquiatría y servicios de rehabilitación para desarrollar estrategias de tratamiento y apoyo individualizadas.

Resultados clínicos y sociales

La aplicación de esta metodología permite a los clínicos:

1. Prevenir diagnósticos psiquiátricos erróneos basados en síntomas mediadores neurológicos;
2. Detectar arritmias subclínicas temprano e identificar sus consecuencias neurológicas asociadas;
3. Optimizar las estrategias terapéuticas, incluyendo intervenciones cardiológicas específicas;
4. Justificar la reevaluación del estatus de discapacidad basada en hallazgos cardiológicos objetivos, particularmente en pacientes que fueron previamente mal clasificados bajo categorías psiquiátricas [7, 9].

Este caso clínico destaca la interacción compleja entre las intervenciones quirúrgicas tempranas, el síndrome latente de Wolff–Parkinson–White (WPW) y las manifestaciones neurológicas secundarias. Demuestra que, sin una detección

oportuna y una evaluación interdisciplinaria, la presentación clínica puede ser malinterpretada, retrasando el tratamiento efectivo. Los hallazgos subrayan la importancia de los caminos clínicos estructurados para el manejo de pacientes que presentan características cardiológicas y neurológicas superpuestas, especialmente cuando el diagnóstico erróneo puede afectar negativamente los resultados a largo plazo del tratamiento y la elegibilidad para el apoyo social.

Modelos matemáticos en cardiología clínica

Los modelos matemáticos en cardiología clínica formalizan los procesos electrofisiológicos del corazón, proporcionan evaluaciones cuantitativas de la función cardíaca y predicen la eficacia de las intervenciones terapéuticas. Para los pacientes con síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), este modelado es particularmente crucial debido a la presencia de una vía de conducción accesoria entre las aurículas y los ventrículos, lo que provoca una excitación ventricular prematura y aumenta el riesgo de taquiarritmias supraventriculares.

Los modelos modernos permiten la simulación de la actividad eléctrica cardíaca en varios niveles:

- ***Modelos de canales iónicos celulares*** - describen la despolarización y repolarización de los cardiomiocitos, y las interacciones de las corrientes de sodio, potasio y calcio, responsables de extrasístoles y taquicardias [1,2].
- ***Modelos de conducción tisular*** – simulan la propagación de la excitación a través de las aurículas, los ventrículos y las vías accesorias, evaluando el riesgo de arritmia en el WPW [3].
- ***Modelos a nivel de órgano y hemodinámicos*** – integran la electrofisiología con parámetros cardiovasculares para evaluar el impacto de intervenciones farmacológicas o invasivas, incluyendo la ablación con catéter [4].
- ***Modelos de riesgo y pronóstico*** – integran datos clínicos, ECG e invasivos para evaluar la probabilidad de arritmias que amenazan la vida [5].

La integración de estos modelos permite la creación de simulaciones digitales personalizadas del corazón que replican las características anatómicas y electrofisiológicas individuales, así como las respuestas a la terapia. Dichos modelos permiten predecir los resultados de la ablación y las intervenciones farmacológicas, evaluar el riesgo y optimizar los parámetros del procedimiento. En consecuencia, respaldan el desarrollo de planes de tratamiento personalizados para pacientes con síndrome de WPW y arritmias relacionadas, mejorando la precisión de las decisiones clínicas y la seguridad de la atención médica.

1. Frecuencia cardíaca durante la taquicardia:

En pacientes con síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), el desarrollo de taquicardia paroxística se acompaña de alteraciones significativas en el ritmo cardíaco, con frecuencias cardíacas que pueden superar los 180–220 latidos por

minuto (lpm). En estos casos, el periodo diastólico se acorta considerablemente, lo que limita la perfusión coronaria y conduce a una reducción en el gasto cardíaco. En consecuencia, se desarrolla inestabilidad hemodinámica, manifestada por hipotensión arterial, mareos, síncope e isquemia miocárdica.

El cálculo de la frecuencia cardíaca (FC) se basa en la medición del intervalo RR en un electrocardiograma (ECG) (Ecuación 1):

$$FC = \frac{60}{RR} \quad (1)$$

Donde:

FC (Frecuencia cardíaca) — frecuencia ventricular en latidos por minuto (lpm);

60 — número de segundos en un minuto (conversión de unidades);

RR — intervalo entre dos ondas R consecutivas en el ECG, en segundos.

Fuente: [10, 11]

El mecanismo fisiopatológico subyacente a este fenómeno es la presencia de una vía de conducción accesoria (haz de Kent), que provoca la despolarización ventricular prematura y establece condiciones para la circulación del impulso de reentrada. La taquicardia prolongada a tales tasas puede resultar en insuficiencia cardíaca aguda, fibrilación auricular o incluso fibrilación ventricular, lo que representa una amenaza inmediata para la vida del paciente.

Por lo tanto, el diagnóstico oportuno, la evaluación electrofisiológica y la selección de la terapia antiarrítmica—incluida la ablación por radiofrecuencia de la vía accesoria—son cruciales para prevenir complicaciones graves y estabilizar los parámetros hemodinámicos.

2. Intervalo PR y duración del complejo QRS:

La evaluación del intervalo PR y la duración del complejo QRS constituye uno de los parámetros electrocardiográficos más esenciales para el diagnóstico del síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) y la estratificación del riesgo arrítmico asociado. La medición precisa de estos intervalos proporciona información crucial sobre la dinámica de la conducción auriculoventricular y ayuda a diferenciar el WPW de otras anomalías de conducción supraventriculares. El intervalo PR, definido como el tiempo desde el inicio de la onda P hasta el comienzo del complejo QRS, refleja el tiempo total de conducción de la excitación eléctrica que viaja desde el nodo sinoauricular a través del miocardio auricular y el nodo auriculoventricular (AV) antes de llegar a los ventrículos a través del sistema His-Purkinje.

En pacientes con síndrome de WPW, se observa típicamente un intervalo PR acortado (<120 ms). Este acortamiento se debe a la presencia de una vía de conducción auriculoventricular accesoria, conocida como el haz de Kent, que

omite el retraso fisiológico normal dentro del nodo AV y permite la despolarización ventricular prematura. Como resultado, los ventrículos se activan antes de lo habitual, produciendo una onda delta distintiva en el ECG y contribuyendo al ensanchamiento del complejo QRS. Esta activación temprana no solo altera los patrones de excitación ventricular, sino que también predispone a los pacientes a taquiarritmias por reentrada, lo que resalta la relevancia clínica de un análisis preciso de los intervalos PR y QRS tanto en el diagnóstico como en la evaluación del riesgo.

La duración del complejo QRS en estos pacientes suele estar prolongada y presenta una morfología característica con una onda delta al inicio del complejo. Esto refleja la combinación simultánea de despolarización temprana a través de la vía accesorio y conducción a través del nodo AV normal. La morfología del complejo QRS permite localizar la vía accesorio (izquierda, derecha o septal), lo que es crucial para planificar el tratamiento intervencionista, particularmente la ablación por radiofrecuencia (RFA) basada en catéter.

El análisis sistemático de la relación entre el intervalo PR y la duración del QRS también permite evaluar la actividad electrofisiológica ventricular y los riesgos potenciales de taquiarritmias, incluyendo taquicardia supraventricular paroxística y fibrilación ventricular. La detección de cambios característicos en estos intervalos facilita la diferenciación del WPW de otras formas de preexcitación e integra los datos del ECG en modelos pronósticos de riesgo.

Por lo tanto, la medición detallada y el análisis morfológico de los intervalos PR y QRS son pasos esenciales en la evaluación electrofisiológica de pacientes sospechosos de WPW. Esto asegura una estratificación precisa del riesgo, justifica la selección de terapia invasiva o farmacológica, y permite predecir el curso clínico de las arritmias, lo que es directamente relevante para reducir el riesgo de muerte súbita cardíaca y complicaciones relacionadas con taquiarritmias (Ecuación 2).

$$PR = t_{A-H} + t_{H-V}, \quad QRS = t_V \quad (2)$$

Donde:

PR — desde el inicio de la despolarización auricular hasta el inicio de la despolarización ventricular, ms.

t_{A-H} — tiempo de conducción desde las aurículas hasta el nodo AV, ms.

t_{H-V} — tiempo de conducción desde el nodo AV hasta los ventrículos, ms.

QRS — duración de la despolarización ventricular, ms.

t_V — duración de la despolarización ventricular, ms.

Fuente: [11, 12]

En pacientes con WPW, el intervalo PR está típicamente acortado (<120 ms), mientras que el complejo QRS está ensanchado (>110 ms), que son signos clásicos de preexcitación.

3. Período Refractario Efectivo de la Vía Accesoria (APERP):

El período refractario efectivo de la vía accesoria (APERP) es un parámetro clave en la evaluación electrofisiológica del síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW) y otros trastornos de conducción que involucran vías accesorias. El APERP define el intervalo mínimo entre dos estimulaciones durante el cual la vía accesoria puede conducir un impulso sin permitir la reactivación de las aurículas o ventrículos.

Clínicamente, esto es de gran importancia: un APERP corto está asociado con un mayor riesgo de taquicardia supraventricular paroxística y arritmias ventriculares potencialmente mortales, incluida la fibrilación ventricular.

Para evaluar el riesgo de arritmias peligrosas, el APERP puede expresarse de la siguiente manera (Ecuación 3):

$$\text{APERP} = t_{\text{refractario}} \quad (3)$$

Donde:

APERP — intervalo mínimo (ms) durante el cual la vía accesoria no conduce un nuevo impulso;

$t_{\text{refractario}}$ — período refractario medido, ms.

Fuente: [13, 14]

Formalmente, el APERP se define como el intervalo más corto S1 S2 durante la estimulación programada de las aurículas o ventrículos en el que la vía accesoria conduce un impulso hacia los ventrículos sin bloqueo.

Los estudios demuestran que un APERP corto (<250 ms en adultos) es un predictor independiente de arritmias peligrosas, mientras que un APERP prolongado (>300 ms) indica un bajo riesgo de alteraciones graves del ritmo. El APERP también está influenciado por factores del sistema nervioso autónomo, el equilibrio electrolítico, el uso de fármacos antiarrítmicos y los cambios estructurales en el miocardio, lo que subraya la necesidad de un enfoque integral e individualizado para la evaluación del riesgo de arritmias.

4. Longitud del Ciclo de Taquicardia (LCT):

La longitud del ciclo de taquicardia (LCT) caracteriza el intervalo de tiempo entre dos complejos QRS consecutivos durante la taquicardia y refleja la tasa del circuito de activación reentrante del corazón. El LCT es un parámetro crítico para comprender los mecanismos que mantienen la arritmia, particularmente la circulación del impulso a través de vías accesorias o regiones de las aurículas y los ventrículos.

Medir el LCT permite evaluar:

- La frecuencia cardíaca durante la taquicardia;
- La estabilidad y persistencia del circuito arítmico;
- El riesgo de trastornos hemodinámicos, incluida la disminución del gasto cardíaco y la isquemia miocárdica;

- Los efectos potenciales de los fármacos antiarrítmicos en la desaceleración o bloqueo de la circulación del impulso.

El LCT también se utiliza en la planificación de intervenciones invasivas, particularmente en la ablación por radiofrecuencia con catéter. El conocimiento de la longitud del ciclo permite una selección óptima de los parámetros de estimulación y la identificación de áreas críticas de conducción. La longitud del ciclo de taquicardia sirve como un marcador pronóstico útil: un LCT corto indica una activación miocárdica más frecuente, un mayor riesgo de arritmias ventriculares y un curso clínico más grave.

La longitud del ciclo de taquicardia se determina como el intervalo RR durante la arritmia (Ecuación 4):

$$LCT = t_{RR\_taquicardia} \quad (4)$$

Donde:

LCT (Longitud del Ciclo de Taquicardia) — duración de un ciclo de taquicardia, ms;

$t_{RR\_taquicardia}$ — intervalo RR durante la taquicardia, ms.

Fuente: [11, 15]

El LCT acortado se correlaciona con un mayor riesgo de arritmias peligrosas, peores hemodinámicas y un pronóstico clínico más pobre, mientras que una longitud de ciclo prolongada generalmente se asocia con un curso arítmico más estable y un menor riesgo de complicaciones. Incluir el LCT en una evaluación integral del paciente permite individualizar el tratamiento, incluida la farmacoterapia y la selección de estrategias de ablación con catéter.

5. Eficacia de la Ablación por Radiofrecuencia:

La ablación por radiofrecuencia (ARF) es el tratamiento de referencia para el síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW) y otros trastornos de conducción que implican vías accesorias. La eficacia del procedimiento se determina por su capacidad para eliminar completamente la vía de conducción patológica y prevenir los episodios recurrentes de taquicardia paroxística.

Una ARF clínicamente efectiva asegura:

- Normalización de la conducción electrocardiográfica;
- Eliminación o reducción significativa en la frecuencia de episodios de taquicardia supraventricular;
- Reducción del riesgo de arritmias ventriculares, fibrilación ventricular y muerte súbita cardíaca.

La eficacia de la ablación por radiofrecuencia (ARF) se evalúa formalmente utilizando la siguiente relación (Ecuación 5):

Los estudios muestran que la eficacia de la ARF en pacientes adultos con WPW supera el 95%, mientras que el riesgo de recurrencia de la taquicardia después de un procedimiento realizado correctamente se mantiene bajo (<5%). Los factores clave

que influyen en el éxito de la ablación incluyen la ubicación de la vía accesoria, las características anatómicas del miocardio, el tratamiento farmacológico previo y la experiencia del electrofisiólogo.

La evaluación de la eficacia de la ARF no se limita a los parámetros electrofisiológicos. También incluye el análisis de la condición clínica del paciente después del procedimiento, la ausencia de episodios recurrentes de taquicardia y la normalización de la función cardíaca durante el seguimiento. Este enfoque integral permite evaluar tanto el éxito técnico de la intervención como el beneficio clínico a largo plazo para el paciente.

$$P_{\text{success}} = \frac{N_{\text{abolidos}}}{N_{\text{intentos}}} \times 100\% \quad (5)$$

Donde:

P_{success} — tasa de éxito del procedimiento, %;

N_{abolidos} — número de vías accesorias exitosamente ablacionadas;

N_{intentos} — número total de intentos de ablación.

Fuente: [14, 16]

Contexto Clínico

Los modelos matemáticos de los procesos electrofisiológicos tienen una relevancia práctica en la cardiología clínica, ya que permiten una evaluación cuantitativa de la carga arrítmica, la evaluación del riesgo de síncope e inestabilidad hemodinámica, y la justificación de la estrategia y el momento para la ablación por radiofrecuencia (ARF). El uso de tales modelos es especialmente importante en los pacientes con el síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW), donde la preexcitación ventricular a través de una vía accesoria puede dar lugar a taquiarritmias paroxísticas, que se manifiestan como palpitaciones, mareos, síncope y riesgo de muerte súbita cardíaca.

Los parámetros cuantitativos calculados mediante estos modelos permiten evaluar los umbrales críticos que determinan la necesidad de intervención. Las constantes utilizadas (60 para convertir segundos a minutos, 1000 para milisegundos a segundos, límites normales para los intervalos PR, QRS y APERP) se basan en los estándares electrofisiológicos internacionales, garantizando la reproducibilidad y el cumplimiento de los protocolos clínicos.

De este modo, estos modelos integran los datos electrofisiológicos en la práctica clínica, facilitando la optimización del diagnóstico y tratamiento de los pacientes con WPW.

1. Trastorno de conducción congénito – síndrome WPW:

- **Mecanismo:** El haz de Kent crea una vía accesoria auriculoventricular, permitiendo que los impulsos eléctricos eludan el nodo AV.

- **Consecuencias:** Desarrollo de taquicardia de reentrada, mayor riesgo de arritmias supraventriculares y ventriculares.
 - **Manifestaciones clínicas:** Paroxismos de taquicardia, que pueden pasar desapercibidos hasta ser provocados (estrés, cirugía, medicamentos).
2. **Arritmias e isquemia cerebral transitoria:**
- **Mecanismo:** El estrés quirúrgico o la anestesia pueden provocar arritmias o paro cardíaco transitorio.
 - **Consecuencias:** Disminución del gasto cardíaco y perfusión cerebral, cambios pre y posthipóxicos.
 - **Manifestaciones clínicas:** Pérdida temporal de conciencia, debilidad, alteración cognitiva.
3. **Manifestaciones neurológicas postoperatorias:**
- **Mecanismo:** La hipoxia cerebral desencadena actividad neuronal tipo epiléptico y crisis autónomas.
 - **Consecuencias:** Episodios convulsivos y ataques sincopales, imitando la epilepsia.
 - **Manifestaciones clínicas:** Convulsiones generalizadas, síntomas cardioneurológicos autónomos.
4. **Diagnóstico erróneo en la juventud adulta:**
- **Mecanismo:** La falta de una evaluación cardiológica integral lleva a la mala interpretación de las convulsiones como epilepsia.
 - **Consecuencias:** La administración de carbamazepina aumenta el riesgo de arritmias ventriculares en los pacientes con WPW.
 - **Manifestaciones clínicas:** Exacerbación de taquicardia, convulsiones recurrentes, episodios sincopales.
5. **Progresión de las complicaciones cardíacas:**
- **Mecanismo:** La arritmia crónica y las taquicardias recurrentes favorecen los cambios estructurales cardíacos y la hipoxia cerebral.
 - **Consecuencias:** Ciclo vicioso: arritmia → hipoxia → convulsiones → exacerbación de la arritmia.
 - **Manifestaciones clínicas:** Episodios sincopales frecuentes, deterioro de la función cognitiva y física.
6. **Disfunción autónoma crónica y consecuencias sociales:**
- **Mecanismo:** La arritmia prolongada combinada con un trastorno psiquiátrico mal diagnosticado causa un desequilibrio autónomo.
 - **Consecuencias:** Retraso en el tratamiento dirigido, carga psicoemocional, maladaptación social.
 - **Manifestaciones clínicas:** Fatiga, miedo a nuevas crisis, aislamiento social.

Esta cascada fisiopatológica demuestra una estrecha interacción entre las anomalías de conducción congénitas, el estrés quirúrgico, la hipoxia cerebral y las complicaciones neurológicas secundarias. El requisito clave es una evaluación multidisciplinaria temprana (cardiólogo, neurólogo, anestesiólogo, psiquiatra) para prevenir complicaciones crónicas y minimizar las consecuencias a largo plazo.

Resultados

El caso clínico de una paciente nacida en 1975 ilustra un curso complejo del síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW) con manifestaciones neurológicas, autónomas y cardiológicas pronunciadas que permanecieron subestimadas durante un largo período. Desde la infancia, experimentó episodios de palpitaciones, disnea y arritmias, lo que indicaba alteraciones latentes de conducción combinadas con disfunción autonómica, contribuyendo a síntomas neurológicos ocultos y complicando el diagnóstico temprano.

En 1990, a la edad de 15 años, tras una apendicectomía bajo anestesia general, ocurrió un probable episodio de paro circulatorio transitorio, resultando en pérdida repetida de conciencia, convulsiones generalizadas y taquicardia paroxística. Estas manifestaciones fueron probablemente secundarias a la hipoxia perioperatoria, lo que resalta el papel de las agresiones perioperatorias como desencadenantes del WPW latente.

En 1991, durante un examen en la Institución Estatal “Instituto de Investigación de Salud Infantil y Adolescente N.K. Krupskaya” (Járkov) a los 16 años, se diagnosticó por primera vez el síndrome de WPW. El diagnóstico se confirmó en 1994 en el Instituto Nacional de Terapia L.T. Mali (Academia Nacional de Ciencias Médicas de Ucrania) cuando la paciente tenía 19 años. La evaluación ecocardiográfica reveló estenosis crítica de la válvula aórtica con un gradiente de presión de 99,2 mmHg, prolapso de la válvula mitral de primer grado, insuficiencia mitral y insuficiencia cardíaca crónica en estadio I. Estos cambios estructurales en el corazón, combinados con vías de conducción auriculoventricular adicionales, contribuyeron al desarrollo de un fenotipo clínico complejo y superpuesto en la edad adulta.

Entre 2002 y 2005, se diagnosticó erróneamente a la paciente con “epilepsia” a pesar de la patología cardiológica subyacente, sin utilizar EEG ni neuroimágenes. La administración de carbamazepina, contraindicada en el WPW, exacerbó las arritmias y provocó alteraciones cognitivas, lo que ilustra las consecuencias de interpretar erróneamente el síncope cardiogénico como una condición neurológica o psiquiátrica primaria.

En 2025, a los 50 años, una evaluación integral confirmó la presencia de ondas delta, una vía de conducción accesoria, y taquicardia reentrante auriculoventricular (AVRT), déficits cognitivos posthipóxicos y disnea persistente al esfuerzo. La

ausencia de documentación quirúrgica archivada indica lagunas en el monitoreo perioperatorio.

La presentación estructurada de los datos mejora la claridad, la validez científica de las conclusiones y facilita el análisis adicional de los parámetros cardiológicos (Tabla 2).

Tabla 2. Cronología de los Eventos Clínicos, Diagnóstico y Tratamiento

Año	Evento / Diagnóstico	Síntomas Principales	Métodos Diagnósticos	Tratamiento / Resultado
1990	Apendicectomía	Pérdida de conciencia, convulsiones	Registros quirúrgicos archivados no disponibles	Probable paro circulatorio, cambios posthipóxicos
1991	Diagnóstico inicial de síndrome WPW	Palpitaciones, disnea, taquicardia	ECG, evaluación clínica	Farmacoterapia según estándares contemporáneos
1994	Confirmación del diagnóstico	Palpitaciones, disnea, taquicardia	ECG, ecocardiografía	Monitoreo ambulatorio, intervención cardiológica no invasiva
2002–2005	Diagnóstico erróneo de “epilepsia”	Convulsiones, pérdida de conciencia	No se realizaron EEG ni neuroimágenes	Carbamazepina → exacerbación de la arritmia, alteraciones cognitivas
2025	Reevaluación integral	Paroxismos, episodios sincopales, síntomas autónomos	ECG, EEG, pruebas de termoprobea	AVRT* confirmado, hipersensibilidad vagal identificada, discontinuación de carbamazepina

* AVRT — taquicardia reentrante auriculoventricular.

Fuente: Elaboración del autor

La progresión del caso resalta la interacción entre las alteraciones latentes de conducción, los desencadenantes perioperatorios, la disfunción autonómica y las manifestaciones neurológicas secundarias. El análisis de los síntomas, los diagnósticos y las respuestas terapéuticas permite reconstruir la secuencia patogenética, considerando los cambios estructurales cardíacos, la actividad del sistema de conducción y las características de la arritmia.

Los datos ofrecen una visión integral del curso a largo plazo del WPW en esta paciente, evidencian el impacto de la intervención quirúrgica de 1990 como desencadenante de complicaciones cardio-neurológicas graves y destacan la necesidad de reevaluar los diagnósticos previos y el estado social y de discapacidad, especialmente tras una evaluación psiquiátrica no justificada.

Discusión

El síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW) es un trastorno congénito de la conducción cardíaca, caracterizado por una vía accesorio auriculoventricular (haz de

Kent) que elude el nodo AV. Esto provoca taquicardias paroxísticas y arritmias graves, incluyendo paro cardíaco súbito, y puede dar lugar a hipoxia cerebral aguda con manifestaciones epilépticas secundarias.

En el caso clínico presentado, los síntomas cardiológicos y neurológicos coexistieron, lo que complicó el proceso diagnóstico, particularmente debido a la falta de documentación médica completa sobre episodios arítmicos previos. Es crucial diferenciar entre manifestaciones psiquiátricas, cardiológicas y provocadas por hipoxia, ya que una interpretación errónea puede llevar a conclusiones incorrectas y un tratamiento inadecuado.

Un diagnóstico preciso del WPW requiere un equipo multidisciplinario, que incluya un cardiólogo, neurólogo y electrofisiólogo. Las taquicardias paroxísticas pueden imitar manifestaciones epilépticas, incluyendo convulsiones y pérdida de conciencia, lo que a menudo da lugar a errores diagnósticos. Hasta el 30% de los casos de WPW pueden ser malinterpretados como epilepsia, especialmente cuando no se dispone de datos cardiológicos objetivos.

Las conclusiones psiquiátricas incorrectas complican la gestión del paciente: la prescripción de fármacos antiepilépticos sin una evaluación cardiológica puede agravar la arritmia y aumentar el riesgo de alteraciones ventriculares. En este caso, las pruebas provocativas revelaron inestabilidad autonómica, lo que confirmó la implicación del sistema nervioso autónomo.

El síndrome de WPW puede activarse después de una cirugía o anestesia general, lo que, en este caso, imitó manifestaciones epilépticas y llevó a un diagnóstico erróneo. El tratamiento eficaz es la ablación por catéter de radiofrecuencia de la vía accesorio, que reduce el riesgo de taquicardias recurrentes y paro cardíaco súbito.

La ausencia de documentación médica completa subraya la necesidad de una evaluación médico-social independiente para evaluar la gravedad de la condición y el derecho a los beneficios por discapacidad. Los episodios sincopales frecuentes con taquicardia y manifestaciones neurológicas secundarias constituyen una base para el reconocimiento oficial de la discapacidad, teniendo en cuenta tanto la naturaleza cardiológica como neurológica de la condición.

Este caso demuestra la estrecha interrelación entre la arritmia cardíaca, la hipoxia cerebral y las complicaciones neurológicas secundarias, lo que resalta la importancia de una evaluación multidisciplinaria temprana y un enfoque cauteloso al prescribir intervenciones antiepilépticas o psiquiátricas.

Conclusiones

Aspectos clínicos:

- Los síntomas del síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW) a menudo imitan manifestaciones epilépticas.

- La combinación de WPW con estenosis de la válvula aórtica aumenta significativamente el riesgo de resultados fatales.
- La epilepsia posthipóxica puede desarrollarse tras un paro cardíaco.
- La administración de terapia antiepiléptica sin monitoreo ECG puede ser perjudicial.
- Las intervenciones quirúrgicas, incluida la apendicectomía, pueden actuar como desencadenantes o provocar una exacerbación de las manifestaciones del WPW.

Diagnóstico y tratamiento:

- Es esencial una colaboración estrecha entre cardiólogos y neurólogos.
- La corrección temprana de las alteraciones ayuda a prevenir complicaciones graves.
- Las causas del síncope deben ser claramente diferenciadas.
- Las pruebas basadas en temperatura pueden detectar disfunciones del sistema nervioso autónomo.
- Las intervenciones terapéuticas deben iniciarse solo después de una evaluación cardiológica integral.

Aspectos médico-sociales:

- La evaluación objetiva es crucial para determinar el estatus de discapacidad.
- La pérdida de conciencia no siempre tiene origen psiquiátrico.
- El estatus de discapacidad en pacientes con WPW debe ser revisado basándose en criterios clínicos.
- Los errores diagnósticos tienen consecuencias sociales significativas.
- Los criterios de evaluación de discapacidad deben ser estandarizados.

Contexto histórico y prospectivo:

- El WPW se manifiesta con frecuencia durante la anestesia general.
- Históricamente, las arritmias eran frecuentemente malinterpretadas como convulsiones epilépticas.
- La discapacidad en pacientes con WPW tiene principalmente una base cardiológica.
- Una historia médica detallada complementa los enfoques diagnósticos modernos y contribuye a una evaluación más precisa del paciente.

Referencias

1. Cherenko L.M. Diagnóstico diferencial de las convulsiones epilépticas y arrítmicas // Neurología y Psiquiatría. – 2020. – N°3. – P. 33–37.
2. Bilous V.F. Síndrome de Wolff-Parkinson-White: Aspectos clínicos y diagnósticos // Revista Ucraniana de Cardiología. – 2019. – N°2. – P. 47–52.
3. Biletskyi V.S. Encefalopatía post-resucitación: Patogénesis y enfoques para la corrección // Angiología Práctica. – 2021. – N°1. – P. 28–35.

4. Myroniuk I.M. Comorbilidad cardioneurológica: Problemas de la práctica moderna // *Perspectivas Médicas*. – 2018. – N°2. – P. 19–24.
5. Kozak M.V. Trastornos de conducción cardíaca: Cardiología pediátrica y casos clínicos // *Pediatría*. – 2017. – N°1. – P. 13–17.
6. Palamarchuk V.Ye. Trastornos autonómicos en la estructura del síndrome arrítmico // *Revista Internacional de Neurología*. – 2022. – N°5. – P. 55–60.
7. Semeniuk O.V. Enfoque multidisciplinario en pacientes con manifestaciones cardioneurológicas // *Neurología Moderna*. – 2020. – N°4. – P. 41–46.
8. Ministerio de Salud de Ucrania. Orden N°152 de 17.04.2014 “Sobre la Aprobación de Protocolos Clínicos para la Atención Médica en la Especialidad de Cardiología”. – Kiev: Ministerio de Salud de Ucrania, 2014.
9. Hrynevych N.O. Experiencia médico-social bajo nuevos enfoques hacia la comorbilidad // *Medicina Social*. – 2023. – N°1. – P. 12–16.
10. Kusumoto F.M. *Electrofisiología cardíaca clínica*. – 5ta ed. – Filadelfia: Wolters Kluwer, 2021.
11. Josephson M.E. *Electrofisiología cardíaca clínica: Técnicas e interpretaciones*. – 5ta ed. – Filadelfia: Wolters Kluwer, 2016.
12. Zipes D.P., Jalife J. *Electrofisiología cardíaca: De la célula a la cama del paciente*. – 7ma ed. – Filadelfia: Elsevier, 2018.
13. Wellens H.J.J. *El ECG en el síndrome WPW*. – Cardiotext Publishing, 2010.
14. Blomström-Lundqvist C., et al. Guías ESC 2019 para el manejo de pacientes con taquicardia supraventricular // *European Heart Journal*. – 2019. – 40(38). – P. 3812–3841.
15. Santinelli V., et al. *Electrofisiología de las vías accesorias* // *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*. – 2015. – 43(1). – P. 25–35.
16. Calkins H., et al. Ablación por catéter de vías accesorias // *Circulation*. – 2009. – 119(5). – P. e21–e77.

[FR_2]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Cas clinique du syndrome de Wolf–Parkinson–White

Résumé

Nous décrivons un cas clinique complexe concernant une patiente présentant un syndrome congénital de Wolff–Parkinson–White (WPW), compliqué par une sténose critique de la valve aortique et une tachycardie paroxystique. Les manifestations cliniques imitaient une épilepsie, ce qui a engendré d'importantes difficultés diagnostiques. Il a été établi que la combinaison d'une tachycardie supraventriculaire impliquant un circuit de réentrée atrioventriculaire (AVRT) chez une patiente atteinte de sténose aortique critique entraînait des diminutions transitoires du débit cardiaque et une hypoperfusion cérébrale, provoquant des épisodes semblables à des crises et des pertes de conscience [1-3].

Le cas souligne une interprétation erronée des symptômes postopératoires suivant une appendicectomie compliquée d'une mort clinique, ayant conduit à la prescription d'un traitement antiépileptique sans examen cardiologique approprié [4]. Malgré la confirmation du diagnostic de syndrome WPW, la patiente a obtenu le statut d'invalidité sur la base d'un profil psychiatrique [5].

Une analyse rétrospective a révélé une sous-estimation du rôle des troubles congénitaux de la conduction cardiaque dans le développement des crises, des pertes de conscience et des symptômes autonomes [6, 7].

Une attention particulière est accordée à l'importance d'une surveillance intraopératoire minimale (ECG, oxymétrie de pouls, pression artérielle), essentielle pour la détection précoce des arythmies et de l'hypoxie, ainsi qu'à la nécessité d'une approche multidisciplinaire pour le diagnostic et la révision des décisions d'expertise médicale et sociale, en tenant compte des données cardiologiques [8, 9].

Mots-clés: syndrome de Wolff–Parkinson–White; arythmie; crises épileptiformes; appendicectomie; diagnostic multidisciplinaire; encéphalopathie post-réanimation; diagnostic différentiel.

Introduction

Le syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) est un trouble congénital de la conduction cardiaque dû à la présence d'une voie accessoire (faisceau de Kent), entraînant une excitation ventriculaire prématurée pouvant provoquer une tachycardie paroxystique, notamment une tachycardie par réentrée atrioventriculaire (AVRT). Bien que généralement non létale, l'AVRT répond efficacement à l'adénosine triphosphate (ATP) et aux bêta-bloquants [2, 5].

À 15 ans, la patiente a subi une appendicectomie sous anesthésie générale sans que le WPW soit diagnostiqué. Le diagnostic officiel a été posé à 16 ans et confirmé à 19 ans [1, 6]. Entre 27 et 30 ans, ses symptômes ont été interprétés à tort comme une épilepsie, alors qu'ils résultaient d'une tachycardie paroxystique liée au WPW.

Les arythmies du WPW peuvent imiter des crises épileptiques et compliquer le diagnostic [4]. Les crises autonomes et l'hypoxie cérébrale aggravent le tableau, surtout chez les jeunes, et une interprétation erronée peut entraîner une classification psychiatrique injustifiée avec des conséquences sociales [3, 7, 9].

Étant donné la fréquence des erreurs diagnostiques et la prise en charge fragmentée, une approche multidisciplinaire est essentielle, ainsi qu'une meilleure sensibilisation des professionnels de santé aux particularités du syndrome [8]. Une surveillance intraopératoire minimale (ECG, oxymétrie de pouls, pression artérielle) est cruciale pour détecter précocement les arythmies et prévenir l'hypoxie.

Objectif de la recherche

Analyse approfondie d'un cas clinique d'une patiente présentant un syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) compliqué par une sténose aortique et des

manifestations épileptiformes, avec un accent sur l'impact de l'intervention chirurgicale sur l'évolution de la maladie et sur les défis diagnostiques.

Tâches de la recherche:

- Différencier les arythmies paroxystiques du WPW des crises épileptiques pour optimiser traitement et soutien social [1, 6].
- Analyser l'interrelation entre l'appendicectomie, la manifestation du WPW et un trouble psychiatrique initialement mal diagnostiqué [4, 7].
- Évaluer les conséquences de l'administration de carbamazépine en l'absence d'épilepsie confirmée [3, 7].
- Étudier l'anesthésie comme facteur potentiel de complications neurologiques dans le WPW [3].
- Examiner le lien pathogénétique entre le WPW, la dysfonction autonome, les manifestations épileptiformes et les syncopes [1, 6].
- Souligner la nécessité de réviser l'expertise médicale et sociale face aux conclusions psychiatriques erronées et à la détection tardive du WPW [7, 9].
- Justifier le test de provocation par la température comme outil diagnostique supplémentaire en cas de symptômes neurologiques incertains [1].

En conclusion, l'étude vise à approfondir la compréhension de la pathologie comorbide associée au WPW, à améliorer les approches diagnostiques et à optimiser les stratégies thérapeutiques dans le cadre d'une prise en charge interdisciplinaire.

Matériels et Méthodes

Objet de l'étude

L'objet de cette étude est une patiente née en 1975, diagnostiquée avec le syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW). L'objectif est d'analyser l'évolution clinique de la maladie depuis l'adolescence, en mettant l'accent sur l'interaction entre les symptômes cardiaques et neurologiques, ainsi que sur l'influence des interventions chirurgicales antérieures [3, 4].

À l'âge de 15 ans, la patiente a subi une appendicectomie. Après l'intervention, elle a présenté des épisodes récurrents de perte de conscience transitoire accompagnés de crises toniques-cloniques généralisées. En l'absence de dossiers chirurgicaux de cette période, l'analyse rétrospective indique une forte probabilité d'arrêt cardiaque périopératoire ou d'épisode bradyarythmique sévère, entraînant vraisemblablement une insuffisance circulatoire transitoire et une hypoxie cérébrale. Ces épisodes hypoxiques sont des facteurs déclenchants connus de complications neurologiques à long terme, souvent confondus avec des syndromes épileptiques. Dans ce cas, ils se sont manifestés par des syncopes soudaines, une dyspnée marquée, des convulsions et une désorientation post-critique — des symptômes initialement difficiles à distinguer d'une épilepsie idiopathique [3].

Le diagnostic initial du WPW a été posé en 1991, à 16 ans, à l'Institut de recherche N.K. Krupskaya pour la santé de l'enfant et de l'adolescent (Kharkiv), principalement sur la base de l'électrocardiographie montrant des signes de pré-excitation caractéristiques d'une voie de conduction atrioventriculaire accessoire. La confirmation finale a été obtenue en 1994 à l'Institut de thérapie L.T. Mala, Académie nationale des sciences médicales d'Ukraine, à 19 ans. Cette confirmation a été cruciale pour différencier la pathologie cardiaque primaire des manifestations neurologiques secondaires liées à une lésion cérébrale hypoxique. L'accumulation progressive de données cliniques est essentielle pour l'évaluation rétrospective de la dynamique de la maladie et permet de retracer l'impact des complications cardiaques précoces et des événements périopératoires sur l'état neurologique ultérieur [2].

Ainsi, ce cas clinique offre une opportunité unique d'étudier l'interaction multifactorielle entre les antécédents chirurgicaux, les anomalies de conduction cardiaque et les résultats neurologiques. Il souligne la nécessité d'une approche diagnostique intégrée impliquant la collaboration entre cardiologues et neurologues pour interpréter les symptômes superposés, assurer une stratification précise du risque et élaborer un plan thérapeutique individualisé pour les patients atteints de WPW.

Compte tenu de la complexité du tableau clinique et de la combinaison de troubles électrophysiologiques et neurologiques, l'analyse a nécessité des investigations multi-niveaux visant à confirmer les dysfonctionnements et à évaluer leur impact sur l'état somatique et psycho-émotionnel de la patiente. L'approche globale a respecté les principes de la médecine basée sur les preuves, garantissant une compréhension intégrée de la pathogenèse et de la dynamique de la maladie.

Pour obtenir une évaluation clinique fiable, cinq groupes méthodologiques ont été appliqués :

- **Études électrophysiologiques** - électrocardiographie, surveillance Holter et électroencéphalographie, permettant de détecter les troubles du rythme et les altérations de l'activité cérébrale.
- **Méthodes de neuroimagerie** - IRM et scanner cérébral pour identifier des anomalies structurelles (telles que méningiome et lésions post-ischémiques).
- **Évaluation cardiologique** - échocardiographie, ergométrie cycliste et surveillance de la pression artérielle, déterminant l'interrelation entre perturbations cardiaques et neurogènes.
- **Études biochimiques et hormonales** - analyses des électrolytes, hormones et neurotransmetteurs, clarifiant les aspects métaboliques de la pathologie.
- **Évaluation psychophysiologique et comportementale** - tests neuropsychologiques et échelles d'anxiété/agressivité visant à apprécier les modifications comportementales et émotionnelles.

L'application de ces méthodes a permis de différencier les causes sous-jacentes des troubles, de développer une stratégie thérapeutique individualisée et d'établir un équilibre optimal entre interventions pharmacologiques, rééducatives et psychosociales.

Le cadre diagnostique repose sur les valeurs obtenues pour chaque groupe méthodologique selon des critères descriptifs et quantitatifs conformes aux normes cliniques établies (Tableau 1).

Tableau 1. Méthodes diagnostiques

Groupe Méthodologique	Description et Importance
Anamnèse	Reconstruction de l'évolution de la maladie depuis l'enfance, identification de la relation entre appendicectomie, hypoxie et manifestations cliniques.
Instrumental	ECG*, surveillance Holter, échocardiographie — clarification de l'activité électrique cardiaque, des troubles du rythme et des paramètres hémodynamiques.
Évaluation neurologique	Vidéo-EEG**, test de provocation thermique et analyse des réactions autonomiques — différenciation entre épilepsie et crises arythmogènes.
Analytique	Synthèse clinique et pathogénétique des symptômes pour établir les relations de cause à effet.
Modélisation mathématique	Calcul des indices d'hypoxie, gradients de pression et variabilité de la fréquence cardiaque — évaluation quantitative du risque et du pronostic.

* ECG — électrocardiogramme

** EEG — électroencéphalogramme

Source : développement de l'auteur.

Observations cliniques

L'observation clinique de la patiente a révélé que le syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) se manifestait comme une pathologie complexe combinant des composantes cardiologiques et neurologiques. Les principaux symptômes incluaient une tachycardie paroxystique récurrente, des épisodes syncopaux, des convulsions et des dysfonctionnements autonomes. De nombreux signes restaient latents ou subtils jusqu'à ce qu'ils soient déclenchés par un stress physiologique ou une intervention chirurgicale, compliquant le diagnostic précoce et entraînant souvent une prise en charge initiale inadéquate.

L'analyse des antécédents chirurgicaux suggère que l'appendicectomie à l'adolescence pourrait avoir agi comme facteur déclencheur physiologique pour l'activation d'un WPW latent. Le stress chirurgical combiné à l'anesthésie générale a probablement induit une hypoxie cérébrale aiguë, initialement interprétée à tort comme une épilepsie primaire. En conséquence, la patiente a reçu de la carbamazépine, un antiepileptique inefficace et potentiellement nocif, pouvant aggraver les troubles de conduction atrioventriculaire [3, 4].

Analyse rétrospective et implications cliniques

L'évaluation rétrospective souligne la nécessité d'une approche diagnostique multi-niveaux pour les présentations ambiguës du WPW, comprenant :

- Documentation complète de la fréquence et de la durée des épisodes syncopaux et tachycardiques ;
- Corrélation des événements arythmiques avec des déclencheurs physiologiques ou émotionnels externes ;
- Évaluation détaillée des dysfonctionnements du système nerveux autonome par tests de provocation thermique et autres études fonctionnelles ;
- Mise en œuvre d'un cadre interdisciplinaire intégrant cardiologie, neurologie, psychiatrie et rééducation pour élaborer des stratégies thérapeutiques et de soutien individualisées.

Résultats cliniques et sociaux

L'application de cette méthodologie permet aux cliniciens de :

1. Prévenir les diagnostics psychiatriques erronés basés sur des symptômes médiés neurologiquement ;
2. Détecter précocement les arythmies subcliniques et leurs conséquences neurologiques associées ;
3. Optimiser les stratégies thérapeutiques, y compris les interventions cardiologiques ciblées ;
4. Justifier une réévaluation du statut d'invalidité sur la base de données cardiologiques objectives, notamment chez les patients précédemment mal classés sous des catégories psychiatriques [7, 9].

Ce cas clinique illustre l'interaction complexe entre les interventions chirurgicales précoces, le WPW latent et les manifestations neurologiques secondaires. Il démontre que, sans détection rapide et évaluation interdisciplinaire, la présentation clinique peut être mal interprétée, retardant le traitement efficace. Les résultats soulignent l'importance de parcours cliniques structurés pour la prise en charge des patients présentant des caractéristiques cardiologiques et neurologiques superposées, en particulier lorsque le diagnostic erroné peut compromettre l'efficacité du traitement à long terme et l'accès au soutien social.

Modèles mathématiques en cardiologie clinique

Les modèles mathématiques en cardiologie clinique formalisent les processus électrophysiologiques du cœur, fournissent une évaluation quantitative de la fonction cardiaque et permettent de prédire l'efficacité des traitements. Pour les patients atteints du syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), cette modélisation est cruciale en raison d'une voie de conduction accessoire entre atria et ventricules, provoquant une excitation ventriculaire prématurée et augmentant le risque de tachyarythmies supraventriculaires.

Les modèles modernes permettent de simuler l'activité électrique cardiaque à différents niveaux :

- **Modèles cellulaires des canaux ioniques** - décrivent la dépolarisation et la repolarisation des cardiomyocytes, les courants sodique, potassique et calcique ainsi que leurs interactions, à l'origine des extrasystoles et tachycardies [1, 2].
- **Modèles de conduction tissulaire** - simulent la propagation de l'excitation à travers les atria, les ventricules et les voies accessoires, évaluant le risque d'arythmie dans le WPW [3].
- **Modèles organiques et hémodynamiques** - intègrent électrophysiologie et paramètres cardiovasculaires pour évaluer l'effet des interventions pharmacologiques ou invasives, y compris l'ablation [4].
- **Modèles de risque et pronostic** - intègrent les données cliniques, ECG et invasives pour estimer la probabilité d'arythmies potentiellement létales [5].

L'intégration de ces modèles permet de créer des simulations numériques personnalisées du cœur, reproduisant les caractéristiques anatomiques et électrophysiologiques individuelles. Ils permettent de prédire les résultats des ablations et interventions pharmacologiques, d'évaluer les risques et d'optimiser les paramètres procéduraux, contribuant ainsi à l'élaboration de plans thérapeutiques individualisés pour les patients atteints de WPW et d'arythmies associées, tout en améliorant la précision clinique et la sécurité des soins.

1. Fréquence cardiaque pendant la tachycardie

Le calcul de la fréquence cardiaque (FC) repose sur la mesure de l'intervalle RR à l'électrocardiogramme (ECG) (Équation 1) :

$$FC = \frac{60}{RR} \quad (1)$$

Où :

FC (Fréquence cardiaque) - fréquence ventriculaire, battements par minute (bpm) ;

60 - nombre de secondes dans une minute (conversion d'unités) ;

RR - intervalle entre deux ondes R consécutives à l'ECG, en secondes.

Source : [10, 11]

Chez les patients atteints du syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), le développement d'une tachycardie paroxystique s'accompagne de perturbations significatives du rythme cardiaque, avec des fréquences pouvant dépasser 180–220 bpm. Dans ces conditions, la période diastolique est fortement réduite, limitant la perfusion coronaire et entraînant une diminution du débit cardiaque. Il en résulte une instabilité hémodynamique, se manifestant par hypotension artérielle, vertiges, syncope et ischémie myocardique.

Le mécanisme physiopathologique sous-jacent est la présence d'une voie de conduction accessoire (faisceau de Kent), qui provoque une dépolarisation

ventriculaire prématurée et crée les conditions d'une circulation réentrante des impulsions. Une tachycardie prolongée à ces fréquences peut provoquer une insuffisance cardiaque aiguë, une fibrillation atriale ou même une fibrillation ventriculaire, constituant une menace immédiate pour la vie du patient.

Ainsi, un diagnostic rapide, une évaluation électrophysiologique et le choix d'une thérapie antiarythmique - y compris l'ablation par radiofréquence de la voie accessoire - sont essentiels pour prévenir les complications graves et stabiliser les paramètres hémodynamiques.

2. Intervalle PR et durée du QRS

L'évaluation de l'intervalle PR et de la durée du complexe QRS constitue un paramètre électrocardiographique essentiel pour le diagnostic du syndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW) et la stratification du risque arythmique associé. La mesure précise de ces intervalles fournit des informations cruciales sur la conduction atrioventriculaire et permet de différencier le WPW d'autres anomalies supraventriculaires.

L'intervalle PR, du début de l'onde P au début du complexe QRS, reflète le temps global de conduction de l'excitation depuis le nœud sinusal, à travers le myocarde atrial et le nœud AV, jusqu'aux ventricules via le système His-Purkinje.

Chez les patients WPW, l'intervalle PR est typiquement raccourci (<120 ms) en raison d'une voie accessoire (faisceau de Kent), contournant le délai normal du nœud AV et entraînant une dépolarisation ventriculaire prématurée. Les ventricules sont ainsi activés plus tôt, produisant une onde delta sur l'ECG et élargissant le complexe QRS. Cette activation précoce modifie l'excitation ventriculaire et prédispose aux tachyarythmies par réentrée, soulignant l'importance d'une analyse précise des intervalles PR et QRS.

La durée du QRS est souvent prolongée avec morphologie caractéristique incluant une onde delta initiale, reflétant la combinaison de la conduction via la voie accessoire et le nœud AV. Cette morphologie permet de localiser la voie (gauche, droite ou septale), essentielle pour planifier l'ablation par radiofréquence.

L'analyse de la relation PR-QRS évalue l'activité électrophysiologique ventriculaire et le risque de tachyarythmies, telles que tachycardie supraventriculaire paroxystique ou fibrillation ventriculaire. Les modifications caractéristiques de ces intervalles facilitent la différenciation du WPW et alimentent les modèles pronostiques.

La mesure détaillée et l'analyse morphologique des intervalles PR et QRS sont essentielles pour la stratification du risque, le choix de la thérapie invasive

ou pharmacologique, et la prédiction de l'évolution des arythmies, réduisant le risque de mort subite et de complications liées aux tachyarythmies (Équation 2).

$$PR = t_{A-H} + t_{H-V}, \quad QRS = t_v \quad (2)$$

Où :

PR — du début de la dépolarisation atriale au début de la dépolarisation ventriculaire, ms ;

t_{A-H} — conduction atria → nœud AV, ms ;

t_{H-V} — conduction nœud AV → ventricules, ms ;

QRS — durée de la dépolarisation ventriculaire, ms ;

t_v — durée de la dépolarisation ventriculaire, ms.

Source : [11, 12]

Chez les patients WPW, l'intervalle PR est raccourci (<120 ms) et le complexe QRS élargi (>110 ms), signes classiques de pré-excitation.

3. Période réfractaire efficace de la voie accessoire (APERP)

La période réfractaire efficace de la voie accessoire (APERP) constitue un paramètre clé dans l'évaluation électrophysiologique du syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) et d'autres troubles de conduction impliquant des voies accessoires. L'APERP définit l'intervalle minimal entre deux stimulations pendant lequel la voie accessoire peut conduire une impulsion sans permettre la réactivation des atria ou des ventricules.

Sur le plan clinique, ce paramètre est hautement significatif : une APERP courte est associée à un risque accru de tachycardie supraventriculaire paroxystique et d'arythmies ventriculaires potentiellement létales, y compris la fibrillation ventriculaire.

Pour évaluer le risque d'arythmies graves, l'APERP peut s'exprimer comme suit (Équation 3) :

$$APERP = t_{\text{réfractaire}} \quad (3)$$

Où :

APERP - intervalle minimal (ms) pendant lequel la voie accessoire ne conduit pas une nouvelle impulsion ;

$t_{\text{réfractaire}}$ - période réfractaire mesurée, ms.

Source : [13, 14]

Formellement, l'APERP est définie comme le plus court intervalle S1–S2 lors d'une stimulation atriale ou ventriculaire programmée au cours duquel la voie accessoire conduit une impulsion vers les ventricules sans bloc.

Les études démontrent qu'une APERP courte (<250 ms chez l'adulte) constitue un facteur prédictif indépendant d'arythmies dangereuses, tandis qu'une APERP prolongée (>300 ms) indique un faible risque de troubles du rythme sévères. L'APERP est également influencée par des facteurs du système nerveux autonome, l'équilibre électrolytique, l'utilisation d'antiarythmiques et les modifications

structurelles myocardiques, soulignant la nécessité d'une approche globale et individualisée pour l'évaluation du risque arythmique.

4. *Durée du cycle tachycardique (TCL)*

La durée du cycle tachycardique (TCL) caractérise l'intervalle de temps entre deux complexes QRS consécutifs lors d'une tachycardie et reflète le rythme du circuit de réentrée cardiaque. La TCL est un paramètre critique pour comprendre les mécanismes qui maintiennent l'arythmie, notamment la circulation des impulsions à travers les voies accessoires ou certaines régions des atria et des ventricules.

La mesure de la TCL permet d'évaluer :

- la fréquence cardiaque pendant la tachycardie ;
- la stabilité et la persistance du circuit arythmique ;
- le risque de perturbations hémodynamiques, incluant la réduction du débit cardiaque et l'ischémie myocardique ;
- les effets potentiels des antiarythmiques sur le ralentissement ou le blocage de la circulation des impulsions.

La TCL est également utilisée pour planifier des interventions invasives, notamment l'ablation par radiofréquence par cathéter. La connaissance de la durée du cycle permet de sélectionner de manière optimale les paramètres de stimulation et d'identifier les zones de conduction critiques. La TCL constitue un marqueur pronostique utile : une TCL courte indique une activation myocardique plus fréquente, un risque accru d'arythmies ventriculaires et un tableau clinique plus sévère.

La durée du cycle tachycardique est déterminée comme l'intervalle RR pendant l'arythmie (Équation 4) :

$$TCL = t_{RR\_tachy} \quad (4)$$

Où :

TCL (Durée du cycle tachycardique) — durée d'un cycle de tachycardie, ms ;

t_{RR_tachy} — intervalle RR pendant la tachycardie, ms.

Source : [11, 15]

Une TCL courte est corrélée à un risque accru d'arythmies graves, à une altération hémodynamique et à un pronostic clinique plus défavorable, tandis qu'une durée de cycle prolongée est généralement associée à une arythmie plus stable et à un risque moindre de complications. L'intégration de la TCL dans l'évaluation globale du patient permet de personnaliser le traitement, incluant la pharmacothérapie et la sélection de stratégies d'ablation par cathéter.

5. *Efficacité de l'ablation par radiofréquence*

L'ablation par radiofréquence (RFA) constitue le traitement de référence pour le syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) et autres troubles de conduction impliquant des voies accessoires. L'efficacité de la procédure se mesure à sa capacité

à éliminer complètement la voie de conduction pathologique et à prévenir les épisodes récurrents de tachycardie paroxystique.

Une RFA cliniquement efficace permet:

- la normalisation de la conduction électrocardiographique;
- l'élimination ou la réduction significative de la fréquence des épisodes de tachycardie supraventriculaire;
- la diminution du risque d'arythmies ventriculaires, de fibrillation ventriculaire et de mort subite.

L'efficacité de l'ablation par radiofréquence est formellement évaluée par le ratio suivant (Équation 5):

$$P_{\text{success}} = \frac{N_{\text{abolished}}}{N_{\text{attempts}}} \times 100\% \quad (5)$$

Où :

P_{success} — taux de succès de la procédure, % ;

$N_{\text{abolished}}$ — nombre de voies accessoires correctement abolies ;

N_{attempts} — nombre total de tentatives d'ablation.

Source: [14, 16]

Les études montrent que l'efficacité de la RFA chez les patients adultes WPW dépasse 95 %, tandis que le risque de récurrence de tachycardie après une procédure correctement réalisée reste faible (<5 %). Les facteurs déterminants du succès incluent la localisation de la voie accessoire, les caractéristiques anatomiques du myocarde, les traitements pharmacologiques antérieurs et l'expertise de l'électrophysiologiste.

L'évaluation de l'efficacité de la RFA ne se limite pas aux paramètres électrophysiologiques : elle comprend également l'analyse de l'état clinique post-procédure, l'absence d'épisodes récurrents de tachycardie et la normalisation de la fonction cardiaque au suivi. Cette approche globale permet d'apprécier à la fois le succès technique de l'intervention et le bénéfice clinique à long terme pour le patient.

Contexte clinique

Les modèles mathématiques des processus électrophysiologiques ont une importance pratique en cardiologie clinique, car ils permettent une évaluation quantitative de la charge arythmogène, l'estimation du risque de syncope et d'instabilité hémodynamique, et la justification de la stratégie et du calendrier pour l'ablation par radiofréquence (RFA). L'utilisation de ces modèles est particulièrement pertinente chez les patients atteints du syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), où la pré-excitation ventriculaire via une voie accessoire peut provoquer des tachyarythmies paroxystiques, se manifestant par palpitations, étourdissements, syncopes et risque de mort subite.

Les paramètres quantitatifs calculés à l'aide de ces modèles permettent d'évaluer les seuils critiques déterminant la nécessité d'une intervention. Les constantes utilisées (60 pour la conversion des secondes en minutes, 1000 pour les millisecondes en secondes, limites normales pour les intervalles PR, QRS et APERP) reposent sur les standards électrophysiologiques internationaux, garantissant la reproductibilité et la conformité aux protocoles cliniques.

Ainsi, ces modèles intègrent les données électrophysiologiques dans la pratique clinique, facilitant l'optimisation du diagnostic et du traitement des patients WPW.

1. Trouble congénital de conduction – syndrome WPW

- **Mécanisme** : Le faisceau de Kent crée une voie atrioventriculaire accessoire, permettant aux impulsions électriques de contourner le nœud AV.
- **Conséquences** : Développement de tachycardie par réentrée, risque accru d'arythmies supraventriculaires et ventriculaires.
- **Manifestations cliniques** : Paroxysmes de tachycardie, souvent latents jusqu'à leur déclenchement (stress, chirurgie, médicaments).

2. Arythmie et ischémie cérébrale transitoire

- **Mécanisme** : Stress chirurgical ou anesthésie pouvant provoquer une arythmie ou un arrêt cardiaque transitoire.
- **Conséquences** : Diminution du débit cardiaque et de la perfusion cérébrale, altérations pré- et post-hypoxiques.
- **Manifestations cliniques** : Perte de connaissance, faiblesse, troubles cognitifs.

3. Manifestations neurologiques postopératoires

- **Mécanisme** : Hypoxie cérébrale déclenchant une activité neuronale épileptiforme et des crises autonomiques.
- **Conséquences** : Épisodes convulsifs et syncopes mimant l'épilepsie.
- **Manifestations cliniques** : Crises généralisées, symptômes cardio-autonomiques.

4. Erreur diagnostique à l'âge adulte jeune

- **Mécanisme** : Absence d'évaluation cardiologique complète entraînant l'interprétation erronée des crises comme épilepsie.
- **Conséquences** : Administration de carbamazépine augmentant le risque d'arythmies ventriculaires chez les patients WPW.
- **Manifestations cliniques** : Aggravation de la tachycardie, crises récurrentes, épisodes syncopaux.

5. Progression des complications cardiaques

- **Mécanisme** : Arythmie chronique et tachycardies récurrentes favorisant des modifications structurelles cardiaques et l'hypoxie cérébrale.
- **Conséquences** : Cercle vicieux : arythmie → hypoxie → crises → aggravation de l'arythmie.

- **Manifestations cliniques** : Syncopes fréquentes, détérioration des fonctions cognitives et physiques.

6. **Dysfonction autonome chronique et conséquences sociales**

- **Mécanisme** : Arythmie prolongée combinée à un diagnostic psychiatrique erroné provoquant un déséquilibre autonome.
- **Conséquences** : Retard dans le traitement ciblé, charge psycho-émotionnelle, maladaptation sociale.
- **Manifestations cliniques** : Fatigue, crainte de nouvelles crises, isolement social.

Cette cascade physiopathologique illustre l'interaction entre anomalies congénitales de conduction, stress chirurgical, hypoxie cérébrale et complications neurologiques secondaires. La recommandation principale est une évaluation multidisciplinaire précoce (cardiologue, neurologue, anesthésiste, psychiatre) pour prévenir les complications chroniques et réduire les conséquences à long terme.

Résultats

Le cas clinique d'une patiente née en 1975 illustre l'évolution complexe du syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) avec des manifestations neurologiques, autonomiques et cardiologiques prononcées, restées sous-estimées pendant une longue période. Depuis l'enfance, elle présentait des épisodes de palpitations, de dyspnée et d'arythmies, révélant des perturbations de conduction latentes associées à une dysrégulation autonome, contribuant à des symptômes neurologiques dissimulés et compliquant le diagnostic précoce.

En 1990, à l'âge de 15 ans, à la suite d'une appendicectomie sous anesthésie générale, un probable épisode d'arrêt circulatoire transitoire est survenu, entraînant des pertes de connaissance répétées, des crises généralisées et une tachycardie paroxystique. Ces manifestations étaient probablement secondaires à une hypoxie péri-opératoire, soulignant le rôle des insultes péri-opératoires comme facteurs déclenchants d'un WPW latent.

En 1991, lors d'un examen à l'Institut d'État « Institut de recherche en santé de l'enfant et de l'adolescent N.K. Krupskaja » (Kharkiv), à l'âge de 16 ans, le diagnostic de syndrome WPW a été posé pour la première fois. Ce diagnostic a été confirmé en 1994 au sein de l'Institut national de thérapie L.T. Mali (Académie nationale des sciences médicales d'Ukraine), lorsque la patiente avait 19 ans. L'évaluation échocardiographique a révélé une sténose critique de la valve aortique avec un gradient de pression de 99,2 mmHg, un prolapsus mitral de premier degré, une régurgitation mitrale et une insuffisance cardiaque chronique au stade précoce (stade I). Ces modifications structurelles cardiaques, associées à des voies de conduction atrioventriculaires supplémentaires, ont contribué au développement d'un phénotype clinique complexe et chevauchant à l'âge adulte.

Entre 2002 et 2005, la patiente a été incorrectement diagnostiquée comme épileptique malgré la pathologie cardiologique sous-jacente, sans recours à l'EEG ni à l'imagerie neurologique. L'administration de carbamazépine, contre-indiquée dans le WPW, a aggravé les arythmies et entraîné des déficits cognitifs, illustrant les conséquences d'une interprétation erronée de la syncope cardiogénique comme trouble neurologique ou psychiatrique primaire.

En 2025, à l'âge de 50 ans, une évaluation complète a confirmé la présence d'ondes delta, d'une voie de conduction accessoire et d'une tachycardie réentrante atrioventriculaire (AVRT), des déficits cognitifs post-hypoxiques et une dyspnée d'effort persistante. L'absence de documents chirurgicaux archivés souligne les lacunes dans la surveillance péri-opératoire.

La présentation structurée des données améliore la clarté, la validité scientifique des conclusions et facilite l'analyse ultérieure des paramètres cardiologiques (Tableau 2).

Tableau 2. Chronologie des événements cliniques, du diagnostic et du traitement

Année	Événement / Diagnostic	Principaux symptômes	Méthodes diagnostiques	Traitement / Résultat
1990	Appendicectomie	Perte de connaissance, crises	Dossiers chirurgicaux archivés non disponibles	Probable arrêt circulatoire, séquelles post-hypoxiques
1991	Diagnostic initial de WPW	Palpitations, dyspnée, tachycardie	ECG, examen clinique	Pharmacothérapie selon standards contemporains
1994	Confirmation du diagnostic	Palpitations, dyspnée, tachycardie	ECG, échocardiographie	Surveillance ambulatoire, intervention cardiologique non invasive
2002–2005	Diagnostic erroné « épilepsie »	Crises, perte de connaissance	Pas d'EEG ni d'imagerie	Carbamazépine → aggravation des arythmies, déficits cognitifs
2025	Réévaluation complète	Paroxysmes, syncopes, symptômes autonomiques	ECG, EEG, tests thermoprobes	AVRT* confirmée, hyperréactivité vagale identifiée, carbamazépine interrompue

*AVRT — tachycardie réentrante atrioventriculaire.

Source : élaboration de l'auteur

La progression du cas met en évidence l'interaction entre perturbations de conduction latentes, déclencheurs péri-opératoires, dysrégulation autonome et manifestations neurologiques secondaires. L'analyse des symptômes, des méthodes diagnostiques et des réponses thérapeutiques permet de reconstruire la séquence pathogénétique, en tenant compte des modifications structurelles du cœur, de l'activité du système de conduction et des caractéristiques des arythmies.

Les données offrent un aperçu complet de l'évolution à long terme du WPW chez cette patiente, illustrent l'impact de l'intervention chirurgicale de 1990 comme déclencheur de complications cardio-neurologiques sévères et soulignent la nécessité de réévaluer les diagnostics antérieurs ainsi que le statut d'invalidité, notamment après des évaluations psychiatriques inappropriées.

Discussion

Le syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) est un trouble congénital de la conduction cardiaque caractérisé par la présence d'une voie atrioventriculaire accessoire (faisceau de Kent), permettant aux impulsions de contourner le nœud AV. Cela conduit fréquemment à des tachycardies paroxystiques et à des arythmies potentiellement mortelles, y compris un arrêt cardiaque subit. Une conséquence grave de ce syndrome est l'hypoxie cérébrale aiguë, qui peut secondairement provoquer des manifestations épileptiques.

Dans le cas clinique présenté, les symptômes cardiologiques et neurologiques ont coexisté, compliquant le processus diagnostique, notamment en raison de l'absence de documentation médicale complète concernant les épisodes arythmiques antérieurs. Il est essentiel de différencier les manifestations psychiatriques, cardiologiques et induites par l'hypoxie, car une mauvaise interprétation peut entraîner des conclusions incorrectes et un traitement inapproprié.

Le diagnostic précis du WPW nécessite une équipe multidisciplinaire, incluant un cardiologue, un neurologue et un électrophysiologiste. Les tachycardies paroxystiques peuvent imiter des manifestations épileptiques, telles que des crises et des pertes de connaissance, entraînant souvent des erreurs diagnostiques. Jusqu'à 30 % des cas de WPW peuvent être interprétés à tort comme de l'épilepsie, notamment en l'absence de données cardiologiques objectives.

Les conclusions psychiatriques incorrectes compliquent la prise en charge des patients : la prescription de médicaments antéépileptiques sans évaluation cardiologique peut aggraver les arythmies et augmenter le risque de troubles ventriculaires. Dans ce cas, des tests provocateurs ont révélé une instabilité autonome, confirmant l'implication du système nerveux autonome.

Le syndrome de WPW peut être activé après une chirurgie ou une anesthésie générale, ce qui, dans ce cas, a imité des manifestations épileptiques et a conduit à un diagnostic erroné. Le traitement efficace consiste en l'ablation par cathéter à radiofréquence de la voie accessoire, ce qui réduit le risque de tachycardies récurrentes et d'arrêt cardiaque subit.

L'absence de documentation médicale complète souligne la nécessité d'une évaluation médico-sociale indépendante pour évaluer la gravité de l'état et déterminer les droits aux prestations d'invalidité. Les épisodes syncopaux fréquents avec tachycardie et les manifestations neurologiques secondaires constituent des

bases pour la reconnaissance officielle de l'invalidité, en tenant compte de la nature cardiaque et neurologique de la condition.

Ce cas démontre l'interrelation étroite entre les arythmies cardiaques, l'hypoxie cérébrale et les complications neurologiques secondaires, soulignant l'importance d'une évaluation multidisciplinaire précoce et d'une approche prudente lors de la prescription d'interventions antépileptiques ou psychiatriques.

Conclusions

Aspects cliniques :

- Les symptômes du syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) imitent souvent des manifestations épileptiques.
- La combinaison du WPW avec une sténose de la valve aortique augmente considérablement le risque de résultats fatals.
- L'épilepsie post-hypoxique peut se développer après un arrêt cardiaque.
- L'administration de thérapie antépileptique sans ECG peut être nuisible.
- Les interventions chirurgicales, telles que l'appendicectomie, peuvent déclencher ou aggraver les manifestations du WPW.

Diagnostic et traitement :

- Une collaboration étroite entre cardiologues et neurologues est essentielle.
- La correction précoce des perturbations aide à prévenir les complications graves.
- Les causes de la syncope doivent être clairement différenciées.
- Les tests basés sur la température peuvent détecter les dysfonctionnements du système nerveux autonome.
- Les interventions thérapeutiques doivent être initiées uniquement après une évaluation cardiologique complète.

Aspects médico-sociaux :

- Une évaluation objective est cruciale pour déterminer le statut d'invalidité.
- La perte de connaissance n'est pas toujours d'origine psychiatrique.
- Le statut d'invalidité chez les patients atteints de WPW doit être réévalué sur la base de critères cliniques.
- Les erreurs diagnostiques ont des conséquences sociales importantes.
- Les critères d'évaluation de l'invalidité doivent être standardisés.

Contexte historique et prospectif :

- Le WPW se manifeste fréquemment pendant l'anesthésie générale.
- Historiquement, les arythmies étaient souvent interprétées à tort comme des crises épileptiques.
- L'invalidité chez les patients atteints de WPW a principalement une base cardiologique.
- Une histoire médicale détaillée complète les approches diagnostiques modernes et contribue à une évaluation plus précise du patient.

Références

1. Cherenko L.M. Diagnostic différentiel des crises épileptiques et arythmogènes. *Neurologie et Psychiatrie*. 2020;3:33–37.
2. Bilous V.F. Syndrome de Wolff–Parkinson–White : aspects cliniques et diagnostiques. *Journal Ukrainien de Cardiologie*. 2019;2:47–52.
3. Biletskyi V.S. Encéphalopathie post-réanimation : pathogenèse et approches thérapeutiques. *Angiologie Pratique*. 2021;1:28–35.
4. Myroniuk I.M. Comorbidité cardioneurologique : problèmes de la pratique moderne. *Perspectives Médicales*. 2018;2:19–24.
5. Kozak M.V. Troubles de la conduction cardiaque : cardiologie pédiatrique et cas cliniques. *Pédiatrie*. 2017;1:13–17.
6. Palamarchuk V.Ye. Troubles du système autonome dans le cadre du syndrome arythmique. *Journal International de Neurologie*. 2022;5:55–60.
7. Semeniuk O.V. Approche multidisciplinaire chez les patients présentant des manifestations cardioneurologiques. *Neurologie Moderne*. 2020;4:41–46.
8. Ministère de la Santé d'Ukraine. Ordre n°152 du 17 avril 2014 : « Approbation des protocoles cliniques de soins médicaux en cardiologie ». Kyiv : Ministère de la Santé d'Ukraine; 2014.
9. Hrynevych N.O. Expertise médico-sociale selon les nouvelles approches de la comorbidité. *Médecine Sociale*. 2023;1:12–16.
10. Kusumoto F.M. *Électrophysiologie cardiaque clinique*, 5^e éd. Philadelphie : Wolters Kluwer; 2021.
11. Josephson M.E. *Électrophysiologie cardiaque clinique : techniques et interprétations*, 5^e éd. Philadelphie : Wolters Kluwer; 2016.
12. Zipes D.P., Jalife J. *Électrophysiologie cardiaque : de la cellule au lit du patient*, 7^e éd. Philadelphie : Elsevier; 2018.
13. Wellens H.J.J. *L'ECG dans le syndrome WPW*. Cardiotext Publishing; 2010.
14. Blomström-Lundqvist C., et al. 2019 ESC Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia. *European Heart Journal*. 2019;40(38):3812–3841.
15. Santinelli V., et al. Electrophysiology of accessory pathways. *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*. 2015;43(1):25–35.
16. Calkins H., et al. Catheter ablation of accessory pathways. *Circulation*. 2009;119(5):e21–e77.

[DE_2]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Klinischer Fall des Wolf–Parkinson–White-Syndroms

Zusammenfassung

Ein komplexer klinischer Fall wird beschrieben, bei dem eine Patientin mit dem Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndrom, kompliziert durch eine kritische Aortenklappenstenose und paroxysmale Tachykardie, auftrat. Die klinischen Manifestationen ähnelten Epilepsie, was diagnostische Herausforderungen verursachte. Es wurde festgestellt, dass die supraventrikuläre Tachykardie mit atrioventrikulärer Reentry-Tachykardie (AVRT) bei der Aortenstenose zu transienten Rückgängen des Herzzeitvolumens und zerebraler Hypoperfusion führte, was anfallsartige Episoden und Bewusstseinsverlust auslöste [1-3].

Der Fall zeigt eine Fehlinterpretation der postoperativen Symptome nach einer Appendektomie, die durch klinischen Tod kompliziert war, was zur Verschreibung

einer antiepileptischen Therapie ohne adäquate kardiologische Untersuchung führte [4]. Trotz der bestätigten WPW-Diagnose wurde der Patientin basierend auf einem psychiatrischen Profil der Invaliditätsstatus gewährt [5].

Eine retrospektive Analyse zeigte eine Unterschätzung der Rolle angeborener kardialer Leitungsstörungen bei der Entstehung von Anfällen, Bewusstseinsverlust und autonomen Symptomen [6, 7].

Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bedeutung minimaler intraoperativer Überwachung (EKG, Pulsoximetrie, arterieller Druck), die für die rechtzeitige Erkennung von Arrhythmien und Hypoxie von entscheidender Bedeutung ist, sowie der Notwendigkeit eines interdisziplinären Ansatzes für die Diagnose und der Überprüfung der medizinischen und sozialen Expertiseentscheidungen unter Berücksichtigung kardiologischer Befunde [8, 9].

Schlüsselwörter: Wolff-Parkinson-White-Syndrom; Arrhythmie; epileptiforme Anfälle; Appendektomie; interdisziplinäre Diagnostik; post-reanimatorische Enzephalopathie; Differentialdiagnose.

Einleitung

Das Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndrom ist eine angeborene Störung der kardialen Leitung, verursacht durch einen akzessorischen Leitungsweg (Kent-Bündel), der zu vorzeitiger ventrikulärer Erregung und paroxysmalen Tachykardien, einschließlich AVRT, führen kann. Obwohl AVRT meist nicht lebensbedrohlich ist, reagiert es gut auf Adenosintriphosphat (ATP) und β -Blocker [2, 5].

Im Alter von 15 Jahren unterzog sich die Patientin einer Appendektomie unter Vollnarkose, ohne dass das WPW-Syndrom diagnostiziert wurde. Die Diagnose wurde mit 16 Jahren gestellt und mit 19 Jahren bestätigt [1, 6]. Zwischen dem 27. und 30. Lebensjahr wurde ihr Zustand fälschlicherweise als Epilepsie interpretiert, während die Symptome tatsächlich durch paroxysmale Tachykardie im Zusammenhang mit dem WPW-Syndrom verursacht wurden.

Arrhythmien beim WPW können epileptische Anfälle imitieren und stellen erhebliche diagnostische Herausforderungen dar [4]. Autonome Krisen und zerebrale Hypoxie erschweren das klinische Bild, besonders bei jungen Patienten [3, 7]. Die Fehlinterpretation dieser Symptome führt oft zu einer ungerechtfertigten psychiatrischen Klassifikation und entsprechenden sozialen Folgen [9].

Angesichts der häufigen diagnostischen Fehler und fragmentierten Behandlung von Patienten mit WPW ist ein interdisziplinärer Ansatz unerlässlich, ebenso wie eine verstärkte Sensibilisierung der medizinischen Fachkräfte für die Charakteristika des Syndroms [8]. Es ist besonders wichtig, eine minimale intraoperative Überwachung (EKG, Pulsoximetrie, arterieller Druck) zu gewährleisten, um Arrhythmien rechtzeitig zu erkennen und Hypoxie zu verhindern.

Forschungsziel

Eine umfassende Analyse eines klinischen Falls einer Patientin mit Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndrom, das durch Aortenstenose und epileptiforme Manifestationen kompliziert wurde, mit besonderem Augenmerk auf die Auswirkungen der chirurgischen Intervention auf den Krankheitsverlauf und diagnostische Herausforderungen.

Forschungsaufgaben:

- Durchführung einer differentialdiagnostischen Abgrenzung zwischen paroxysmalen Arrhythmien im WPW-Syndrom und epileptischen Anfällen, um therapeutische Strategien und soziale Unterstützung zu verfeinern [1, 6].
- Analyse der Wechselbeziehung zwischen Appendektomie, der Manifestation des WPW-Syndroms und einer fehldiagnostizierten psychiatrischen Störung [4, 7].
- Bewertung der Konsequenzen der Carbamazepin-Gabe ohne bestätigte Epilepsie [3, 7].
- Untersuchung der Anästhesie als möglichem Auslöser neurologischer Komplikationen im WPW-Syndrom [3].
- Untersuchung der pathogenetischen Verbindung zwischen WPW, autonomen Dysfunktionen, epileptischen Manifestationen und Synkopen [1, 6].
- Betonung der Notwendigkeit einer Überprüfung der Ansätze in der medizinischen und sozialen Expertise, angesichts fehlerhafter psychiatrischer Schlussfolgerungen und verzögerter Erkennung des WPW-Syndroms [7, 9].
- Untermauerung des Einsatzes von Temperaturprovokationstests als zusätzliches diagnostisches Hilfsmittel bei unklarer neurologischer Symptomatik [1].

Das Ziel der Studie ist es, das Verständnis der komorbiden Pathologie des WPW-Syndroms zu vertiefen, diagnostische Ansätze zu verbessern und therapeutische Strategien im interdisziplinären Management zu optimieren.

Material und Methoden

Objekt der Studie

Objekt dieser Studie ist eine Patientin, geboren 1975, mit der Diagnose des Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndroms. Ziel der Studie ist es, den klinischen Verlauf der Krankheit seit der Adoleszenz zu analysieren, mit besonderem Fokus auf die Wechselwirkungen zwischen kardialen und neurologischen Symptomen sowie den Einfluss früherer chirurgischer Eingriffe [3, 4].

Im Alter von 15 Jahren unterzog sich die Patientin einer Appendektomie. Nach dem chirurgischen Eingriff erlebte sie wiederkehrende Episoden vorübergehenden Bewusstseinsverlusts, begleitet von generalisierten tonisch-klonischen Anfällen. Trotz des Fehlens chirurgischer Aufzeichnungen aus dieser Zeit deutet die retrospektive Analyse auf eine hohe Wahrscheinlichkeit eines perioperativen Herzstillstands oder einer schweren bradyarrhythmischen Episode hin. Ein solcher Zustand führte wahrscheinlich zu vorübergehendem Kreislaufversagen und

zerebraler Hypoperfusion. Hypoxische Episoden dieser Art sind bekannte Auslöser für langfristige neurologische Komplikationen, die häufig epileptische Syndrome nachahmen. Bei dieser Patientin manifestierten sich diese Ereignisse klinisch als plötzliche synkopale Episoden, ausgeprägte Dyspnoe, Krampfanfälle und postiktale Desorientierung — Symptome, die zunächst schwer von idiopathischer Epilepsie zu unterscheiden waren [3].

Die erste Diagnose des WPW-Syndroms wurde 1991 im Alter von 16 Jahren am N.K. Krupskaya Forschungsinstitut für Kinder- und Jugendgesundheit (Charkiw) gestellt. Die Diagnose basierte zunächst auf elektrokardiographischen Befunden, die Präexzitationsmuster zeigten, die typisch für das Vorhandensein eines akzessorischen atrioventrikulären Leitungsweges sind. Eine endgültige Bestätigung erfolgte 1994 am L.T. Mala Institut für Therapie der Nationalen Akademie der Medizinischen Wissenschaften der Ukraine, als die Patientin 19 Jahre alt war. Diese Bestätigung spielte eine entscheidende Rolle bei der Differenzierung der primären kardialen Pathologie von sekundären neurologischen Manifestationen, die mit hypoxischen Hirnschäden verbunden sind. Die fortschreitende Ansammlung klinischer Daten ist entscheidend für die retrospektive Bewertung der Krankheitsdynamik und ermöglicht es, nachzuvollziehen, wie frühe kardiologische Komplikationen und perioperative Ereignisse den anschließenden neurologischen Zustand der Patientin beeinflussten [2].

Dieser klinische Fall bietet eine einzigartige Gelegenheit, die Wechselwirkung zwischen chirurgischer Vorgeschichte, kardialen Leitungsstörungen und neurologischen Ergebnissen zu untersuchen. Er unterstreicht die Notwendigkeit eines integrierten diagnostischen Ansatzes, der die Zusammenarbeit zwischen Kardiologen und Neurologen umfasst, um überlappende Symptome zu interpretieren, die Risikostratifikation zu gewährleisten und einen individualisierten Behandlungsplan für Patienten mit WPW-Syndrom zu entwickeln.

Angesichts der Komplexität des klinischen Bildes und der Kombination von elektrophysiologischen und neurologischen Störungen erforderte die weitere Analyse mehrstufige Untersuchungen, die auf die Bestätigung funktioneller Störungen und die Bewertung ihrer Auswirkungen auf den somatischen und psychosomatischen Zustand der Patientin abzielten. Der umfassende Ansatz folgte den Prinzipien der evidenzbasierten Medizin und gewährleistete ein integriertes Verständnis der Pathogenese und Dynamik der Krankheit.

Um eine zuverlässige klinische Bewertung zu erhalten, wurden fünf methodische Gruppen angewendet:

- **Elektrophysiologische Studien** - Elektrokardiographie, Holter-Monitoring und Elektroenzephalographie, um Rhythmusstörungen und Veränderungen der Hirnaktivität zu erkennen.

- **Neuroimaging-Methoden** - MRT- und CT-Untersuchungen des Gehirns zur Identifikation struktureller Anomalien wie Meningeomen und ischämischen Läsionen.
- **Kardiologische Bewertungsmethoden** - Echokardiographie, Fahrradergometrie und Blutdrucküberwachung zur Bestimmung der Wechselbeziehungen zwischen kardialen und neurogenen Störungen.
- **Biochemische und hormonelle Studien** - Analysen von Elektrolyten, Hormonen und Neurotransmittern, die die metabolischen Aspekte der Pathologie klären.
- **Psychophysiologische und Verhaltensbewertung** - Neuropsychologische Tests und Skalen zur Angst/Aggression, um Verhaltens- und emotionale Veränderungen zu bewerten.

Die Anwendung dieser Methoden ermöglichte es, die Ursachen der Störungen zu differenzieren, eine individuelle Behandlungsstrategie zu entwickeln und ein ausgewogenes Verhältnis zwischen pharmakologischen, rehabilitativen und psychosozialen Interventionen zu etablieren.

Der diagnostische Rahmen basiert auf den Werten, die aus jeder methodischen Gruppe nach deskriptiven und quantitativen Kriterien gemäß den etablierten klinischen Standards gewonnen wurden (Tabelle 1).

Tabelle 1. Diagnostische Methoden

Methodengruppe	Beschreibung und Bedeutung
Anamnese	Rekonstruktion des Krankheitsverlaufs seit der Kindheit, Identifikation der Beziehung zwischen Appendektomie, Hypoxie und klinischen Manifestationen.
Instrumentell	EKG*, Holter-Monitoring, Echokardiographie — Klärung der kardialen elektrischen Aktivität, Rhythmusstörungen und hämodynamischer Parameter.
Neurologische Bewertung	Video-EEG**, Temperaturprovokationstest und Analyse autonomer Reaktionen — Differenzierung zwischen Epilepsie und arrhythmogenen Anfällen.
Analytisch	Klinische und pathogenetische Synthese der Symptome zur Etablierung von Kausalzusammenhängen.
Mathematische Modellierung	Berechnung von Hypoxie-Indizes, Druckgradienten und Herzfrequenzvariabilität — quantitative Risikoeinschätzung und Prognosebewertung.

* EKG — Elektrokardiogramm.

** EEG — Elektroenzephalogramm.

Quelle: Eigene Entwicklung.

Klinische Beobachtungen

Die klinische Beobachtung der Patientin ergab, dass das Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndrom eine komplexe Erkrankung darstellt, die kardiologische und neurologische Komponenten kombiniert. Die Hauptsymptome umfassen

wiederkehrende paroxysmale Tachykardien, synkopale Episoden, Krampfanfälle und autonome Funktionsstörungen. Viele dieser Symptome blieben latent oder subtil, bis sie durch physiologischen Stress oder chirurgische Eingriffe ausgelöst wurden, was die frühe Diagnose erschwerte und oft zu unzureichendem initialen Management führte.

Die Analyse der chirurgischen Vorgeschichte deutet darauf hin, dass die Appendektomie während der Adoleszenz als physiologischer Auslöser für die Aktivierung des latenten WPW-Syndroms fungiert haben könnte. Der chirurgische Stress in Verbindung mit der Allgemeinanästhesie induzierte vermutlich eine akute zerebrale Hypoxie, die zunächst fälschlicherweise als primäre Anfallsstörung interpretiert wurde. Infolgedessen wurde der Patientin Carbamazepin, ein antiepileptisches Medikament, verschrieben, das sich als unwirksam und potenziell schädlich erwies, da es die atrioventrikulären Leitungsstörungen verschlechtern kann [3, 4].

Retrospektive Analyse und klinische Implikationen

Die retrospektive Beurteilung hebt die Notwendigkeit eines mehrstufigen diagnostischen Ansatzes bei ambigen WPW-Präsentationen hervor. Dieser Ansatz umfasst:

- Umfassende Dokumentation der Häufigkeit und Dauer von synkopalen und tachykardischen Episoden;
- Korrelation von arrhythmischen Ereignissen mit externen physiologischen oder emotionalen Auslösern;
- Detaillierte Evaluation von Störungen des autonomen Nervensystems unter Verwendung von Temperaturprovokationstests und anderen funktionellen Studien;
- Implementierung eines interdisziplinären Rahmens, der Kardiologie, Neurologie, Psychiatrie und Rehabilitationsdienste integriert, um individualisierte Behandlungs- und Unterstützungsstrategien zu entwickeln.

Klinische und soziale Ergebnisse

Die Anwendung dieser Methodologie ermöglicht es Klinikern:

1. Psychiatrische Fehldiagnosen auf der Grundlage neurologisch bedingter Symptome zu verhindern;
2. Subklinische Arrhythmien frühzeitig zu erkennen und ihre neurologischen Konsequenzen zu identifizieren;
3. Therapeutische Strategien zu optimieren, einschließlich gezielter kardiologischer Interventionen;
4. Eine Neubewertung des Invaliditätsstatus auf der Grundlage objektiver kardiologischer Befunde zu rechtfertigen, insbesondere bei Patienten, die zuvor fälschlicherweise in psychiatrische Kategorien eingeordnet wurden [7, 9].

Dieser klinische Fall hebt die komplexe Wechselwirkung zwischen frühen chirurgischen Eingriffen, latentem Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndrom und sekundären neurologischen Manifestationen hervor. Er zeigt, dass ohne rechtzeitige Erkennung und interdisziplinäre Bewertung die klinische Präsentation möglicherweise missinterpretiert wird, was zu einer Verzögerung der effektiven Behandlung führt. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung strukturierter klinischer Pfade für das Management von Patienten mit überlappenden kardiologischen und neurologischen Merkmalen, insbesondere wenn eine Fehldiagnose langfristige Behandlungsergebnisse und die Anspruchsberechtigung für soziale Unterstützung negativ beeinflussen kann.

Mathematische Modelle in der klinischen Kardiologie

Mathematische Modelle in der klinischen Kardiologie formalisieren die elektrophysiologischen Prozesse des Herzens, liefern quantitative Bewertungen der Herzfunktion und prognostizieren die Wirksamkeit therapeutischer Interventionen. Für Patienten mit WPW-Syndrom ist dieses Modell besonders wichtig, da ein zusätzlicher Leitungsweg zwischen Vorhöfen und Ventrikeln besteht, der zu vorzeitiger ventrikulärer Erregung führt und das Risiko supraventrikulärer Tachyarrhythmien erhöht.

Moderne Modelle ermöglichen die Simulation der elektrischen Aktivität des Herzens auf verschiedenen Ebenen:

- ***Zelluläre Ionenkanal-Modelle*** – beschreiben die Depolarisation und Repolarisation von Kardiomyozyten, Natrium-, Kalium- und Calciumströme sowie deren Interaktionen, die der Entstehung von Extrasystolen und Tachykardien zugrunde liegen [1, 2].
- ***Gewebe-Leitungs-Modelle*** – simulieren die Ausbreitung der Erregung durch die Vorhöfe, Ventrikel und den akzessorischen Leitungsweg und bewerten das Arrhythmierisiko im WPW-Syndrom [3].
- ***Organ- und hämodynamische Modelle*** – integrieren Elektrophysiologie mit kardiovaskulären Parametern, um die Auswirkungen pharmakologischer oder invasiver Interventionen, einschließlich der Katheterablation, zu bewerten [4].
- ***Risikomodelle und prognostische Modelle*** – integrieren klinische, EKG- und invasive Daten, um die Wahrscheinlichkeit lebensbedrohlicher Arrhythmien zu bewerten [5].

Die Integration dieser Modelle ermöglicht die Erstellung personalisierter digitaler Herzsimulationen, die individuelle anatomische und elektrophysiologische Merkmale sowie Reaktionen auf Therapien replizieren. Solche Modelle erlauben die Vorhersage von Ablationsergebnissen und pharmakologischen Interventionen, Risikobewertungen und die Optimierung von Verfahrensparametern. Sie unterstützen somit die Entwicklung individueller Behandlungspläne für Patienten

mit WPW-Syndrom und verwandten Arrhythmien, was die Genauigkeit klinischer Entscheidungen und die Sicherheit der medizinischen Versorgung erhöht.

1. Herzfrequenz während der Tachykardie

Die Berechnung der Herzfrequenz (HR) basiert auf der Messung des RR-Intervalls im Elektrokardiogramm (EKG) (Gleichung 1):

$$HR = \frac{60}{RR} \quad (1)$$

Wo:

HR (Herzfrequenz) — ventrikuläre Herzfrequenz, Schläge pro Minute (bpm);

60 — Anzahl der Sekunden in einer Minute (Einheitenumrechnung);

RR — Intervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden R-Wellen im EKG, in Sekunden.

Quelle: [10, 11]

Bei Patienten mit Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndrom wird die Entwicklung einer paroxysmalen Tachykardie von erheblichen Störungen des Herzrhythmus begleitet, wobei Herzfrequenzen von mehr als 180–220 Schlägen pro Minute (bpm) erreicht werden können. In solchen Fällen ist die diastolische Phase deutlich verkürzt, was die koronare Perfusion einschränkt und zu einer Verringerung des Herzzeitvolumens führt. Infolgedessen entwickelt sich eine hämodynamische Instabilität, die sich in arterieller Hypotonie, Schwindel, Synkope und Myokardischämie manifestiert.

Der pathophysiologische Mechanismus, der diesem Phänomen zugrunde liegt, ist das Vorhandensein eines akzessorischen Leitungswegs (Kent-Bündel), der zu einer vorzeitigen ventrikulären Depolarisation führt und Bedingungen für einen reentry-Impulskreis schafft. Eine verlängerte Tachykardie mit solchen Frequenzen kann zu akutem Herzversagen, Vorhofflimmern oder sogar ventrikulärem Flimmern führen, was eine unmittelbare Lebensgefahr für den Patienten darstellt.

Daher sind eine rechtzeitige Diagnose, elektrophysiologische Beurteilung und Auswahl der antiarrhythmischen Therapie — einschließlich der Radiofrequenzablation des akzessorischen Leitungswegs — entscheidend, um schwere Komplikationen zu verhindern und die hämodynamischen Parameter zu stabilisieren.

2. PR-Intervall und QRS-Dauer

Die Beurteilung des PR-Intervalls und der QRS-Komplexdauer stellt einen der wichtigsten elektrokardiografischen Parameter für die Diagnose des Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndroms sowie für die Stratifikation des damit verbundenen Arrhythmierisikos dar. Eine präzise Messung dieser Intervalle liefert entscheidende Einblicke in die atrioventrikuläre Leitungsdynamik und

hilft, das WPW-Syndrom von anderen supraventrikulären Leitungsstörungen zu differenzieren. Das PR-Intervall, definiert als die Zeit vom Beginn der P-Welle bis zum Beginn des QRS-Komplexes, reflektiert die gesamte Leitungszeit der elektrischen Erregung, die vom Sinusknoten durch das Vorhofmyokard und den AV-Knoten bis hin zu den Ventrikeln über das His-Purkinje-System gelangt.

Bei Patienten mit WPW-Syndrom wird typischerweise ein verkürztes PR-Intervall (<120 ms) beobachtet. Diese Verkürzung entsteht durch das Vorhandensein eines akzessorischen atrioventrikulären Leitungswegs, bekannt als Kent-Bündel, der die normale physiologische Verzögerung im AV-Knoten umgeht und eine vorzeitige ventrikuläre Depolarisation ermöglicht. Infolgedessen werden die Ventrikel früher als üblich aktiviert, was eine charakteristische Delta-Welle im EKG erzeugt und zur Erweiterung des QRS-Komplexes beiträgt. Diese frühe Aktivierung verändert nicht nur die ventrikulären Erregungsmuster, sondern prädisponiert die Patienten auch für reentry-Tachyarrhythmien, was die klinische Relevanz einer präzisen Analyse des PR- und QRS-Intervalls sowohl für die Diagnose als auch für die Risikobewertung unterstreicht.

Die QRS-Komplexdauer ist bei diesen Patienten häufig verlängert und weist eine charakteristische Morphologie mit einer Delta-Welle zu Beginn des Komplexes auf. Dies reflektiert die gleichzeitige Kombination der frühen Depolarisation über den akzessorischen Leitungsweg und die Leitung durch den normalen AV-Knoten. Die Morphologie des QRS-Komplexes ermöglicht die Lokalisierung des akzessorischen Leitungswegs (linksseitig, rechtsseitig oder septal), was entscheidend für die Planung der interventionellen Behandlung, insbesondere der kathetergestützten Radiofrequenzablation (RFA), ist.

Die systematische Analyse der Beziehung zwischen dem PR-Intervall und der QRS-Dauer ermöglicht auch die Bewertung der ventrikulären elektrophysiologischen Aktivität und der potenziellen Risiken von Tachyarrhythmien, einschließlich paroxysmaler supraventrikulärer Tachykardie und ventrikulärem Flimmern. Die Erkennung charakteristischer Veränderungen dieser Intervalle erleichtert die Differenzierung des WPW-Syndroms von anderen Formen der Präexzitation und integriert die EKG-Daten in prognostische Risikomodelle.

Daher sind die detaillierte Messung und morphologische Analyse des PR- und QRS-Intervalls wesentliche Schritte in der elektrophysiologischen Bewertung von Patienten mit Verdacht auf WPW. Dies gewährleistet eine präzise Risikostratifikation, rechtfertigt die Auswahl invasiver oder pharmakologischer Therapien und ermöglicht die Vorhersage des klinischen Verlaufs von Arrhythmien, was direkt relevant ist, um das Risiko eines plötzlichen Herztodes

und von Tachyarrhythmien-bedingten Komplikationen zu verringern (Gleichung 2).

$$PR = t_{A-H} + t_{H-V}, \quad QRS = t_V \quad (2)$$

Wo:

PR — Vom Beginn der Vorhofdepolarisation bis zum Beginn der ventrikulären Depolarisation, ms.

t_{A-H} — Leitungszeit vom Vorhof zum AV-Knoten, ms.

t_{H-V} — Leitungszeit vom AV-Knoten zu den Ventrikeln, ms.

QRS — Dauer der ventrikulären Depolarisation, ms.

t_V — Dauer der ventrikulären Depolarisation, ms

Quelle: [11, 12]

Bei WPW-Patienten ist das PR-Intervall typischerweise verkürzt (<120 ms), während der QRS-Komplex erweitert ist (>110 ms), was klassische Anzeichen einer Präexzitation darstellt.

3. Effektive Refraktärperiode des akzessorischen Leitungswegs (APERP)

Die effektive Refraktärperiode des akzessorischen Leitungswegs (APERP) ist ein entscheidender Parameter in der elektrophysiologischen Beurteilung des Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndroms und anderer Leitungsstörungen, die akzessorische Leitungswege betreffen. APERP definiert das minimale Intervall zwischen zwei Stimuli, während dessen der akzessorische Leitungsweg ein Impuls leiten kann, ohne eine Reaktivierung der Vorhöfe oder Ventrikel zuzulassen.

Klinisch ist dies relevant: Ein kurzes APERP ist mit einem erhöhten Risiko für paroxysmale supraventrikuläre Tachykardien und potenziell lebensbedrohliche ventrikuläre Arrhythmien, einschließlich Ventrikelflimmern, verbunden.

Um das Risiko gefährlicher Arrhythmien zu bewerten, kann APERP wie folgt ausgedrückt werden (Gleichung 3):

$$APERP = t_{\text{refractory}} \quad (3)$$

Wo:

APERP — minimales Intervall (ms), während dessen der akzessorische Leitungsweg keinen neuen Impuls leitet;

$t_{\text{refractory}}$ — gemessene Refraktärperiode, ms.

Quelle: [13, 14]

Formell wird APERP als das kürzeste S1–S2-Intervall während einer programmierten atrialen oder ventrikulären Stimulation definiert, in dem der akzessorische Leitungsweg einen Impuls zu den Ventrikeln ohne Block leitet.

Studien zeigen, dass ein kurzes APERP (<250 ms bei Erwachsenen) ein unabhängiger Prädiktor für gefährliche Arrhythmien ist, während ein verlängertes APERP (>300 ms) auf ein niedriges Risiko für schwere Rhythmusstörungen hinweist. APERP wird auch von Faktoren des autonomen Nervensystems, dem Elektrolytgleichgewicht, dem Einsatz von Antiarrhythmika und strukturellen

Myokardveränderungen beeinflusst, was die Notwendigkeit eines umfassenden, individualisierten Ansatzes zur Risikobewertung von Arrhythmien unterstreicht.

4. Tachykardienzykluslänge (TCL)

Die Tachykardienzykluslänge (TCL) charakterisiert das Zeitintervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden QRS-Komplexen während einer Tachykardie und spiegelt die Aktivierungsrate des Reentry-Zirkels des Herzens wider. TCL ist ein kritischer Parameter für das Verständnis der Mechanismen, die die Arrhythmie aufrechterhalten, insbesondere der Impulszirkulation durch akzessorische Leitungsbahnen oder Regionen der Vorhöfe und Ventrikel.

Die Messung der TCL ermöglicht die Beurteilung von:

- Herzfrequenz während der Tachykardie;
- Stabilität und Persistenz des arrhythmischen Kreises;
- Risiko von hämodynamischen Störungen, einschließlich reduziertem Herzzeitvolumen und Myokardischämie;
- Potenzielle Auswirkungen von Antiarrhythmika auf die Verlangsamung oder Blockierung der Impulszirkulation.

TCL wird auch bei der Planung invasiver Interventionen, insbesondere der kathetergestützten Radiofrequenzablation, genutzt. Die Kenntnis der Zykluslänge erlaubt die optimale Auswahl der Stimulationsparameter und die Identifikation kritischer Leitungsbereiche. Die Tachykardienzykluslänge dient als prognostischer Marker: Eine verkürzte TCL zeigt häufigere Myokardaktivierung, erhöht das Risiko ventrikulärer Arrhythmien und verschlechtert den klinischen Verlauf.

Die Tachykardienzykluslänge wird als RR-Intervall während der Arrhythmie bestimmt (Gleichung 4):

$$TCL = t_{RR\_tachy} \quad (4)$$

Wo:

TCL (Tachykardienzykluslänge) — Dauer eines Tachykardienzyklus, ms;

t_{RR_tachy} — RR-Intervall während der Tachykardie, ms.

Quelle: [11, 15]

Eine verkürzte TCL korreliert mit einem erhöhten Risiko für gefährliche Arrhythmien, verschlechterten hämodynamischen Verhältnissen und einem schlechteren klinischen Prognoseverlauf, während eine verlängerte Zykluslänge im Allgemeinen mit einem stabileren Arrhythmieverlauf und einem geringeren Risiko für Komplikationen verbunden ist. Die Integration von TCL in eine umfassende Patientenbewertung ermöglicht eine Individualisierung der Behandlung, einschließlich der Auswahl von Pharmakotherapie und Katheterablationstrategien.

5. Wirksamkeit der Radiofrequenzablation

Die Radiofrequenzablation (RFA) gilt als Goldstandard bei der Behandlung des Wolff-Parkinson-White-(WPW)-Syndroms und anderer Leitungsstörungen mit

akzessorischen Bahnen. Ihre Wirksamkeit beruht auf der vollständigen Eliminierung des pathologischen Leitungswegs und der Verhinderung wiederkehrender paroxysmaler Tachykardien.

Klinisch effektive RFA gewährleistet:

- Normalisierung der elektrokardiografischen Leitung;
- Eliminierung oder signifikante Reduktion der Häufigkeit von supraventrikulären Tachykardie-Episoden;
- Reduktion des Risikos von ventrikulären Arrhythmien, ventrikulärem Flimmern und plötzlichem Herztod.

Die Wirksamkeit der Radiofrequenzablation (RFA) wird formell mit dem Verhältnis (Gleichung 5) bewertet:

$$P_{\text{success}} = \frac{N_{\text{abolished}}}{N_{\text{attempts}}} \times 100\% \quad (5)$$

Wo:

P_{success} — Erfolgsrate des Verfahrens, %;

$N_{\text{abolished}}$ — Anzahl der erfolgreich ablationierten akzessorischen Leitungsbahnen;

N_{attempts} — Gesamtzahl der Ablationversuche.

Quelle: [14, 16]

Studien zeigen, dass die Wirksamkeit der RFA bei erwachsenen WPW-Patienten über 95 % liegt, während das Risiko eines Rückfalls der Tachykardie nach einer ordnungsgemäß durchgeführten Behandlung niedrig bleibt (<5 %). Wichtige Faktoren, die den Erfolg der Ablation beeinflussen, umfassen die Lage der akzessorischen Leitungsbahn, die anatomischen Merkmale des Myokards, die vorherige pharmakologische Behandlung und die Expertise des Elektrophysiologen.

Die Beurteilung der Wirksamkeit der RFA beschränkt sich nicht nur auf elektrophysiologische Parameter, sondern umfasst auch die Analyse des klinischen Zustands nach dem Verfahren, das Ausbleiben wiederkehrender Tachykardien und die Normalisierung der Herzfunktion. So lassen sich sowohl der technische Erfolg als auch der langfristige klinische Nutzen für den Patienten bewerten.

Klinischer Kontext

Mathematische Modelle elektrophysiologischer Prozesse sind in der klinischen Kardiologie praktisch relevant, da sie eine quantitative Beurteilung der arrhythmogenen Belastung, die Abschätzung des Risikos von Synkopen und hämodynamischer Instabilität sowie die Begründung von Strategie und Zeitpunkt der Radiofrequenzablation (RFA) ermöglichen. Ihr Einsatz ist besonders bei Patienten mit Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndrom wichtig, bei dem ventrikuläre Präexzitation über einen akzessorischen Leitungsweg paroxysmale Tachyarrhythmien verursachen kann, die sich als Palpitationen, Schwindel, Synkopen und erhöhtes Risiko für plötzlichen Herztod manifestieren.

Quantitative Parameter, die mit diesen Modellen berechnet werden, ermöglichen die Beurteilung kritischer Schwellenwerte für die Notwendigkeit einer Intervention. Die verwendeten Konstanten (60 zur Umrechnung von Sekunden in Minuten, 1000 von Millisekunden in Sekunden, normale Grenzwerte für PR-, QRS- und APERP-Intervalle) basieren auf internationalen elektrophysiologischen Standards und sichern Reproduzierbarkeit sowie Einhaltung klinischer Protokolle.

Diese Modelle integrieren elektrophysiologische Daten in die klinische Praxis und erleichtern die Optimierung von Diagnose und Behandlung bei WPW-Patienten.

1. **Kongenitale Leitungsstörung – WPW-Syndrom:**

- **Mechanismus:** Der Kent-Bündel bildet einen akzessorischen atrioventrikulären Leitungsweg, der elektrische Impulse am AV-Knoten vorbeiführt.
- **Folgen:** Entwicklung einer Reentry-Tachykardie, erhöhtes Risiko für supraventrikuläre und ventrikuläre Arrhythmien.
- **Klinische Manifestationen:** Paroxysmen der Tachykardie, die unbemerkt bleiben und durch Stress, Operationen oder Medikamente ausgelöst werden.

2. **Arrhythmie und vorübergehende zerebrale Ischämie:**

- **Mechanismus:** Chirurgischer Stress oder Anästhesie können Arrhythmien oder einen vorübergehenden Herzstillstand auslösen.
- **Folgen:** Vermindertes Herzzeitvolumen und reduzierte zerebrale Perfusion, prä- und post-hypoxische Veränderungen.
- **Klinische Manifestationen:** Vorübergehender Bewusstseinsverlust, Schwäche, kognitive Beeinträchtigung.

3. **Postoperative neurologische Manifestationen:**

- **Mechanismus:** Zerebrale Hypoxie löst epileptiforme neuronale Aktivität und autonome Krisen aus.
- **Folgen:** Krampfanfälle und synkopale Anfälle, die Epilepsie nachahmen.
- **Klinische Manifestationen:** Generalisierte Anfälle, kardiovaskuläre autonome Symptome.

4. **Fehldiagnose im jungen Erwachsenenalter:**

- **Mechanismus:** Mangel an umfassender kardiologischer Bewertung führt zur Fehldeutung von Anfällen als Epilepsie.
- **Folgen:** Carbamazepin-Einnahme erhöht das Risiko von ventrikulären Arrhythmien bei WPW-Patienten.
- **Klinische Manifestationen:** Verschlechterung der Tachykardie, wiederkehrende Anfälle, synkopale Episoden.

5. **Fortschreiten der kardialen Komplikationen:**

- **Mechanismus:** Chronische Arrhythmien und wiederkehrende Tachykardien fördern strukturelle Veränderungen des Herzens und zerebrale Hypoxie.

- **Folgen:** Teufelskreis: Arrhythmie → Hypoxie → Anfälle → Verschlechterung der Arrhythmie.
- **Klinische Manifestationen:** Häufige synkopale Episoden, Verschlechterung der kognitiven und körperlichen Funktionen.

6. **Chronische autonome Dysfunktion und soziale Konsequenzen:**

- **Mechanismus:** Langfristige Arrhythmien in Verbindung mit einer fehlerhaften psychiatrischen Diagnose führen zu einem autonomen Ungleichgewicht.
- **Folgen:** Verzögerung gezielter Behandlungen, psycho-emotionale Belastung, soziale Missanpassung.
- **Klinische Manifestationen:** Müdigkeit, Angst vor Krisen, soziale Isolation.

Diese pathophysiologische Kaskade verdeutlicht das Zusammenspiel zwischen kongenitalen Leitungsanomalien, chirurgischem Stress, zerebraler Hypoxie und sekundären neurologischen Komplikationen. Eine frühzeitige multidisziplinäre Beurteilung (Kardiologe, Neurologe, Anästhesist, Psychiater) ist entscheidend, um chronische Komplikationen zu verhindern und langfristige Folgen zu minimieren.

Ergebnisse

Der klinische Fall einer weiblichen Patientin, geboren 1975, veranschaulicht den komplexen Verlauf des Wolff-Parkinson-White-Syndroms (WPW) mit ausgeprägten neurologischen, autonomen und kardiologischen Manifestationen, die lange Zeit unterschätzt wurden. Seit ihrer Kindheit litt sie unter Episoden von Palpitationen, Dyspnoe und Arrhythmien, die auf latente Leitungsstörungen und autonome Dysregulation hinwiesen, was die frühe Diagnose erschwerte.

1990, im Alter von 15 Jahren, ereignete sich nach einer Appendektomie unter Vollnarkose wahrscheinlich eine Episode eines transitorischen Kreislaufstillstands, was zu wiederholtem Bewusstseinsverlust, generalisierten Krämpfen und paroxysmaler Tachykardie führte. Diese Manifestationen waren vermutlich sekundär auf perioperative Hypoxie zurückzuführen, was die Rolle perioperativer Schädigungen als Auslöser latenter WPW-Formen unterstreicht.

1991, während einer Untersuchung am „Forschungsinstitut für Kinder- und Jugendgesundheit“ (Charkiw) wurde im Alter von 16 Jahren erstmals das WPW-Syndrom diagnostiziert. 1994, im Alter von 19 Jahren, wurde die Diagnose am L.T. Mali Nationalen Institut für Therapie (Nationale Akademie der Medizinischen Wissenschaften der Ukraine) bestätigt. Echokardiographisch zeigte sich eine kritische Aortenklappenstenose mit einem Druckgradienten von 99,2 mmHg, ein Mitralklappenprolaps ersten Grades, Mitralinsuffizienz und eine chronische Herzinsuffizienz im Frühstadium (Stadium I). Diese strukturellen Veränderungen, kombiniert mit zusätzlichen atrioventrikulären Leitungsbahnen, führten zu einem komplexen klinischen Phänotyp im Erwachsenenalter.

Zwischen 2002 und 2005 wurde bei der Patientin fälschlicherweise „Epilepsie“ diagnostiziert, trotz zugrunde liegender kardiologischer Pathologie, ohne den Einsatz von EEG oder Neuroimaging. Die Verabreichung von Carbamazepin, das bei WPW kontraindiziert ist, verschärfte die Arrhythmien und führte zu kognitiven Beeinträchtigungen, was die Folgen einer Fehlinterpretation von kardiogenen Synkopen als primäre neurologische oder psychiatrische Erkrankung verdeutlicht.

Im Jahr 2025, im Alter von 50 Jahren, bestätigte eine umfassende Untersuchung das Vorhandensein von Delta-Wellen, einem zusätzlichen Leitungsweg, AVRT, post-hypoxischen kognitiven Defiziten und persistierender Belastungsdyspnoe. Das Fehlen archivierter chirurgischer Unterlagen weist auf Lücken in der perioperativen Überwachung hin.

Die strukturierte Präsentation der Daten verbessert die Klarheit, die wissenschaftliche Validität der Schlussfolgerungen und erleichtert die weitere Analyse kardiologischer Parameter (Tabelle 2).

Tabelle 2. Chronologie der klinischen Ereignisse, Diagnosen und Behandlungen

Jahr	Ereignis / Diagnose	Hauptsymptome	Diagnostische Methoden	Behandlung / Ergebnis
1990	Appendektomie	Bewusstseinsverlust, Krampfanfälle	Archivierte chirurgische Unterlagen nicht verfügbar	Wahrscheinlich Kreislaufstillstand, post-hypoxische Veränderungen
1991	Erste WPW-Syndrom-Diagnose	Palpitationen, Dyspnoe, Tachykardie	EKG, klinische Bewertung	Pharmakotherapie gemäß den aktuellen Standards
1994	Bestätigung der Diagnose	Palpitationen, Dyspnoe, Tachykardie	EKG, Echokardiographie	Ambulante Überwachung, nicht-invasive kardiologische Intervention
2002–2005	Falsche Diagnose „Epilepsie“	Krampfanfälle, Bewusstseinsverlust	Kein EEG oder Neuroimaging durchgeführt	Carbamazepin → Exazerbation der Arrhythmie, kognitive Beeinträchtigungen
2025	Umfassende Neubewertung	Paroxysmen, Synkope-Episoden, autonome Symptome	EKG, EEG, Thermoprobentests	AVRT* bestätigt, vagale Hyperreaktivität identifiziert, Carbamazepin abgesetzt

* AVRT – Atrioventrikuläre Reentry-Tachykardie.

Quelle: Eigenes Werk des Autors

Der Verlauf des Falls verdeutlicht das Zusammenspiel von latenten Leitungsstörungen, perioperativen Auslösern, autonomer Dysregulation und sekundären neurologischen Manifestationen. Die Analyse der Symptome, Diagnostik und therapeutischen Reaktionen ermöglicht die Rekonstruktion der pathogenetischen Sequenz unter Berücksichtigung der strukturellen

Herzveränderungen, der Aktivität des Leitungssystems und der Arrhythmiecharakteristika.

Die Daten bieten einen umfassenden Überblick über den Langzeitverlauf des WPW bei dieser Patientin, zeigen die Auswirkungen des chirurgischen Eingriffs von 1990 als Auslöser schwerer kardiologischer-neurologischer Komplikationen und betonen die Notwendigkeit, frühere Diagnosen sowie den sozialen und Behinderungsstatus der Patientin neu zu bewerten, insbesondere nach einer unberechtigten psychiatrischen Bewertung.

Diskussion

Das Wolff-Parkinson-White-Syndrom (WPW) ist eine angeborene Herzleitungsstörung, die durch das Vorhandensein eines zusätzlichen atrioventrikulären Leitungsweges (Kent-Bündel) gekennzeichnet ist, der es Impulsen ermöglicht, den AV-Knoten zu umgehen. Dies führt häufig zu paroxysmalen Tachykardien und potenziell lebensbedrohlichen Arrhythmien, einschließlich plötzlichem Herztod. Eine ernste Folge ist die akute zerebrale Hypoxie, die sekundär epileptische Manifestationen hervorrufen kann.

Im vorliegenden klinischen Fall koexistierten kardiologische und neurologische Symptome, was den diagnostischen Prozess erschwerte, insbesondere in Abwesenheit vollständiger medizinischer Dokumentation bezüglich früherer arrhythmischer Episoden. Es ist von entscheidender Bedeutung, psychiatrische, kardiologische und hypoxiebedingte Manifestationen zu differenzieren, da eine Fehlinterpretation zu falschen Schlussfolgerungen und inadäquater Behandlung führen kann.

Die genaue Diagnose des WPW erfordert ein multidisziplinäres Team, bestehend aus Kardiologen, Neurologen und Elektrophysiologen. Paroxysmale Tachykardien können epileptische Manifestationen nachahmen, einschließlich Krampfanfällen und Bewusstseinsverlust, was häufig zu diagnostischen Fehlern führt. Bis zu 30% der WPW-Fälle können als Epilepsie fehlinterpretiert werden, insbesondere wenn objektive kardiologische Daten fehlen.

Falsche psychiatrische Schlussfolgerungen erschweren das Patientenmanagement: Die Verordnung von Antiepileptika ohne kardiologische Untersuchung kann Arrhythmien verschärfen und das Risiko von ventrikulären Störungen erhöhen. In diesem Fall ergaben provokative Tests eine autonome Instabilität, die die Beteiligung des autonomen Nervensystems bestätigte.

Das WPW-Syndrom kann nach chirurgischen Eingriffen oder allgemeiner Anästhesie aktiviert werden, was in diesem Fall epileptische Manifestationen nachahmte und zu einer falschen Diagnose führte. Eine effektive Behandlung stellt die Radiofrequenzkatheterablation des zusätzlichen Leitungsweges dar, die das Risiko wiederkehrender Tachykardien und plötzlichem Herztod verringert.

Das Fehlen vollständiger medizinischer Dokumentation unterstreicht die Notwendigkeit einer unabhängigen medico-sozialen Beurteilung, um die Schwere des Zustands und das Anrecht auf Invaliditätsleistungen zu evaluieren. Häufige Synkopenepisoden mit Tachykardie und sekundären neurologischen Manifestationen bilden die Grundlage für die offizielle Anerkennung einer Invalidität, unter Berücksichtigung sowohl der kardiologischen als auch der neurologischen Natur des Zustands.

Dieser Fall zeigt die enge Wechselbeziehung zwischen Herzrhythmusstörungen, zerebraler Hypoxie und sekundären neurologischen Komplikationen und betont die Bedeutung einer frühen multidisziplinären Evaluation sowie einen vorsichtigen Umgang mit der Verschreibung antiepileptischer oder psychiatrischer Interventionen.

Schlussfolgerungen

Klinische Aspekte:

- Die Symptome des Wolff-Parkinson-White-Syndroms (WPW) ähneln häufig epileptischen Manifestationen.
- Die Kombination von WPW mit einer Aortenklappenstenose erhöht das Risiko für tödliche Folgen erheblich.
- Post-hypoxische Epilepsie kann nach einem Herzstillstand entstehen.
- Die Verabreichung von Antiepileptika ohne EKG-Überwachung kann schädlich sein.
- Chirurgische Eingriffe, einschließlich Appendektomie, können als Auslöser wirken oder eine Verschärfung der WPW-Manifeste hervorrufen.

Diagnose und Behandlung:

- Eine enge Zusammenarbeit zwischen Kardiologen und Neurologen ist unerlässlich.
- Eine frühzeitige Korrektur von Störungen hilft, schwere Komplikationen zu verhindern.
- Die Ursachen der Synkope müssen eindeutig differenziert werden.
- Temperaturbasierte Tests können Funktionsstörungen des autonomen Nervensystems erkennen.
- Therapeutische Interventionen sollten nur nach einer umfassenden kardiologischen Evaluation eingeleitet werden.

Medizinisch-soziale Aspekte:

- Eine objektive Beurteilung ist von entscheidender Bedeutung, um den Invaliditätsstatus zu bestimmen.
- Bewusstseinsverlust ist nicht immer psychiatrischen Ursprungs.
- Der Invaliditätsstatus von Patienten mit WPW sollte auf klinischen Kriterien basierend überprüft werden.

- Diagnostische Fehler haben erhebliche soziale Konsequenzen.
- Die Kriterien zur Beurteilung der Invalidität sollten standardisiert werden.

Historischer und prospektiver Kontext:

- WPW manifestiert sich häufig während der allgemeinen Anästhesie.
- Historisch gesehen wurden Arrhythmien häufig als epileptische Anfälle fehlinterpretiert.
- Die Invalidität bei Patienten mit WPW hat überwiegend eine kardiologische Basis.
- Eine detaillierte Krankengeschichte ergänzt moderne diagnostische Ansätze und trägt zu einer genaueren Patientenbeurteilung bei.

Literaturverzeichnis

1. Cherenko L.M. Differentialdiagnose von epileptischen und arrhythmogenen Anfällen // Neurologie und Psychiatrie. – 2020. – Nr. 3. – S. 33–37.
2. Bilous V.F. Wolff–Parkinson–White-Syndrom: Klinische und diagnostische Aspekte // Ukrainische Zeitschrift für Kardiologie. – 2019. – Nr. 2. – S. 47–52.
3. Biletskyi V.S. Post-Resuscitation Enzephalopathie: Pathogenese und Korrekturansätze // Praktische Angiologie. – 2021. – Nr. 1. – S. 28–35.
4. Myroniuk I.M. Kardiologische Neurologie-Komorbidität: Probleme der modernen Praxis // Medizinische Perspektiven. – 2018. – Nr. 2. – S. 19–24.
5. Kozak M.V. Herzleitungsstörungen: Pädiatrische Kardiologie und klinische Fälle // Pädiatrie. – 2017. – Nr. 1. – S. 13–17.
6. Palamarchuk V.Ye. Autonome Störungen im Rahmen des Arrhythmiesyndroms // Internationale Neurologische Zeitschrift. – 2022. – Nr. 5. – S. 55–60.
7. Semeniuk O.V. Multidisziplinärer Ansatz bei Patienten mit kardiologisch-neurologischen Manifestationen // Moderne Neurologie. – 2020. – Nr. 4. – S. 41–46.
8. Ministerium für Gesundheit der Ukraine. Verordnung Nr. 152 vom 17.04.2014 „Über die Genehmigung von klinischen Protokollen für die medizinische Versorgung im Bereich der Kardiologie“. – Kiew: Ministerium für Gesundheit der Ukraine, 2014.
9. Hrynevych N.O. Medico-soziale Expertise unter neuen Ansätzen der Komorbidität // Soziale Medizin. – 2023. – Nr. 1. – S. 12–16.
10. Kusumoto F.M. Klinische Herz-Kardiologie und Elektrophysiologie. – 5. Aufl. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2021.
11. Josephson M.E. Klinische Herz-Kardiologie und Elektrophysiologie: Techniken und Interpretationen. – 5. Aufl. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2016.

12. Zipes D.P., Jalife J. Herz-Kardiologie: Von der Zelle bis zum Bett. – 7. Aufl. – Philadelphia: Elsevier, 2018.
13. Wellens H.J.J. Das EKG im WPW-Syndrom. – Cardiotext Publishing, 2010.
14. Blomström-Lundqvist C., et al. 2019 ESC-Leitlinien für das Management von Patienten mit supraventrikulären Tachykardien // Europäische Herzzeitschrift. – 2019. – 40(38). – S. 3812–3841.
15. Santinelli V., et al. Elektrophysiologie von zusätzlichen Leitungsbahnen // Zeitschrift für interventionelle kardiologische Elektrophysiologie. – 2015. – 43(1). – S. 25–35.
16. Calkins H., et al. Katheterablation von zusätzlichen Leitungsbahnen // Zirkulation. – 2009. – 119(5). – S. e21–e77.

[PT_2]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Caso clínico da síndrome de Wolf–Parkinson–White

Resumo

É descrito um caso clínico complexo envolvendo uma paciente do sexo feminino com síndrome congénita de Wolff–Parkinson–White (WPW) complicada por estenose crítica da válvula aórtica e taquicardia paroxística. As manifestações clínicas mimetizavam epilepsia, gerando desafios diagnósticos significativos. Constatou-se que a combinação de taquicardia supraventricular envolvendo um circuito de reentrada atrioventricular (AVRT) em uma paciente com estenose aórtica crítica levou a diminuições transitórias do débito cardíaco e hipoperfusão cerebral, resultando em episódios semelhantes a crises epilépticas e perda de consciência [1-3].

O caso evidencia uma interpretação equivocada dos sintomas pós-operatórios após apendicectomia complicada por morte clínica, que levou à prescrição de terapia antiepiléptica sem avaliação cardiológica adequada [4]. Apesar do diagnóstico confirmado de síndrome de WPW, a paciente obteve status de incapacidade com base em perfil psiquiátrico [5].

A análise retrospectiva revelou subestimação do papel das desordens congénitas de condução cardíaca no desenvolvimento de crises, perda de consciência e sintomas autonómicos [6,7].

Chama-se atenção especial para a importância do monitoramento intraoperatório mínimo (ECG, oximetria de pulso, pressão arterial), essencial para a detecção oportuna de arritmias e hipóxia, bem como para a necessidade de uma abordagem multidisciplinar no diagnóstico e na revisão de decisões de perícia médica e social considerando achados cardiológicos [8,9].

Palavras-chave: síndrome de Wolff–Parkinson–White; arritmia; crises epileptiformes; apendicectomia; diagnóstico multidisciplinar; encefalopatia pós-ressuscitação; diagnóstico diferencial.

Introdução

A síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) é uma desordem congénita de condução cardíaca causada pela presença de uma via acessória (feixe de Kent), que provoca excitação ventricular prematura e pode resultar em taquicardia paroxística, incluindo taquicardia de reentrada atrioventricular (AVRT). Embora a AVRT geralmente não seja fatal, responde bem ao tratamento com trifosfato de adenosina (ATP) e β -bloqueadores [2,5].

Aos 15 anos, a paciente foi submetida a apendicectomia sob anestesia geral, durante a qual a síndrome de WPW não foi diagnosticada. O diagnóstico oficial de WPW foi realizado aos 16 anos e confirmado aos 19 anos [1,6]. Entre os 27 e 30 anos, seu quadro clínico foi erroneamente interpretado como epilepsia, enquanto os sintomas eram causados por taquicardia paroxística associada à síndrome de WPW.

Arritmias na WPW podem mimetizar crises epilépticas, criando desafios diagnósticos significativos [4]. Crises autonómicas e hipóxia cerebral complicam o quadro clínico, especialmente em pacientes jovens [3,7]. A interpretação equivocada desses sintomas frequentemente conduz à classificação psiquiátrica injustificada dos pacientes e às correspondentes consequências sociais [9].

Diante dos frequentes erros diagnósticos e do manejo fragmentado de pacientes com WPW, uma abordagem multidisciplinar é essencial, juntamente com o aumento da conscientização de profissionais de saúde sobre as características da síndrome [8]. É particularmente importante garantir monitoramento intraoperatório mínimo (ECG, oximetria de pulso, pressão arterial) para a detecção oportuna de arritmias e prevenção de hipóxia.

Objetivo da Pesquisa

Análise abrangente de um caso clínico envolvendo uma paciente do sexo feminino com síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) complicada por estenose aórtica e manifestações epileptiformes, com ênfase no impacto da intervenção cirúrgica na evolução da doença e nos desafios diagnósticos.

Tarefas da Pesquisa

- Realizar diagnóstico diferencial entre arritmias paroxísticas na WPW e crises epilépticas, a fim de refinar estratégias terapêuticas e de suporte social [1,6].
- Analisar a inter-relação entre apendicectomia, manifestação da WPW e diagnóstico psiquiátrico equivocado [4,7].
- Avaliar as consequências da administração de carbamazepina na ausência de epilepsia confirmada [3,7].
- Investigar a anestesia como potencial gatilho para complicações neurológicas na WPW [3].
- Examinar a conexão patogénica entre WPW, disfunção autonômica, manifestações epileptiformes e condições sincopais [1,6].
- Ressaltar a necessidade de revisão das abordagens em perícia médica e social, considerando a ocorrência de conclusões psiquiátricas equivocadas e a detecção tardia da WPW [7,9].
- Fundamentar o uso do teste de provocação por temperatura como ferramenta diagnóstica adicional em casos de sintomatologia neurológica incerta [1].

Em conclusão, o estudo visa aprofundar a compreensão da patologia comórbida na WPW, aprimorar abordagens diagnósticas e otimizar estratégias terapêuticas dentro do âmbito do manejo interdisciplinar.

Materiais e Métodos

Objeto do Estudo

O objeto deste estudo é uma paciente do sexo feminino, nascida em 1975, diagnosticada com síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW). O objetivo é analisar a evolução clínica da doença desde a adolescência, enfatizando a interação entre sintomas cardíacos e neurológicos, bem como a influência de intervenções cirúrgicas anteriores [3,4].

Aos 15 anos, a paciente foi submetida a apendicectomia. Após o procedimento cirúrgico, apresentou episódios recorrentes de perda transitória de consciência acompanhados de crises tônico-clônicas generalizadas. Apesar da ausência de registros cirúrgicos daquela época, a análise retrospectiva indica alta probabilidade de parada cardíaca perioperatória ou episódio bradiarrítmico grave, provavelmente levando à insuficiência circulatória transitória e hipoxia cerebral. Episódios hipóxicos desse tipo são gatilhos conhecidos de complicações neurológicas de longo prazo que frequentemente mimetizam síndromes epilépticas. Na paciente, esses

eventos manifestaram-se clinicamente como episódios sincopais súbitos, dispneia acentuada, convulsões e desorientação pós-ictal — sintomas inicialmente difíceis de distinguir de epilepsia idiopática [3].

O diagnóstico inicial de WPW foi estabelecido em 1991, aos 16 anos, no Instituto de Pesquisa em Saúde da Criança e Adolescente N.K. Krupskaya (Kharkiv). O diagnóstico baseou-se principalmente em achados eletrocardiográficos demonstrando padrões de pré-excitação típicos da presença de uma via acessória atrioventricular. A confirmação final ocorreu em 1994 no Instituto L.T. Mala de Terapia, Academia Nacional de Ciências Médicas da Ucrânia, quando a paciente tinha 19 anos. Esta confirmação foi crucial para diferenciar a patologia cardíaca primária de manifestações neurológicas secundárias associadas a lesão cerebral hipóxica. A acumulação progressiva de dados clínicos é fundamental para avaliação retrospectiva da dinâmica da doença e permite rastrear como complicações cardíacas precoces e eventos perioperatórios influenciaram o estado neurológico subsequente da paciente [2].

Portanto, este caso clínico oferece uma oportunidade única para estudar a interação multifatorial entre histórico cirúrgico, anomalias de condução cardíaca e desfechos neurológicos. Ressalta a necessidade de uma abordagem diagnóstica integrada envolvendo colaboração entre cardiologistas e neurologistas para interpretar sintomas sobrepostos, garantir estratificação de risco precisa e desenvolver plano terapêutico individualizado para pacientes com WPW.

Dada a complexidade do quadro clínico e a combinação de distúrbios eletrofisiológicos e neurológicos, a análise adicional exigiu investigações multiníveis visando confirmar distúrbios funcionais e avaliar seu impacto no estado somático e psicoemocional da paciente. A abordagem abrangente seguiu os princípios da medicina baseada em evidências, assegurando compreensão integrada da patogênese e dinâmica da doença.

Para obter avaliação clínica confiável, foram aplicados cinco grupos metodológicos:

- **Estudos eletrofisiológicos** — eletrocardiografia, monitorização Holter e eletroencefalografia, possibilitando detecção de distúrbios de ritmo e alterações na atividade cerebral.
- **Métodos de neuroimagem** — ressonância magnética (RM) e tomografia computadorizada (TC) do cérebro para identificação de anomalias estruturais (como meningioma e lesões pós-isquêmicas).
- **Métodos de avaliação cardiológica** — ecocardiografia, ergometria em bicicleta e monitoramento da pressão arterial, determinando a inter-relação entre distúrbios cardíacos e neurogênicos.

- **Estudos bioquímicos e hormonais** — análises de eletrólitos, hormônios e neurotransmissores, esclarecendo aspectos metabólicos da patologia.
- **Avaliação psicofisiológica e comportamental** — testes neuropsicológicos e escalas de ansiedade/agressividade, avaliando alterações comportamentais e emocionais.

A aplicação desses métodos permitiu diferenciar causas subjacentes dos distúrbios, desenvolver estratégia terapêutica individualizada e estabelecer equilíbrio ideal entre intervenções farmacológicas, reabilitativas e psicossociais.

O arcabouço diagnóstico baseia-se nos valores obtidos de cada grupo metodológico, de acordo com critérios descritivos e quantitativos consistentes com padrões clínicos estabelecidos (Tabela 1).

Tabela 1. Métodos Diagnósticos

Grupo Metodológico	Descrição e Significado
Anamnésico	Reconstrução da evolução da doença desde a infância; identificação da relação entre apendicectomia, hipóxia e manifestações clínicas.
Instrumental	ECG*, monitorização Holter, ecocardiografia — esclarecimento da atividade elétrica cardíaca, distúrbios de ritmo e parâmetros hemodinâmicos.
Avaliação Neurológica	Vídeo-EEG**, teste de provocação por temperatura e análise de reações autonômicas — diferenciação entre epilepsia e crises arritmogênicas.
Analítico	Síntese clínica e patogénica dos sintomas para estabelecer relações de causa e efeito.
Modelagem Matemática	Cálculo de índices de hipóxia, gradientes de pressão e variabilidade da frequência cardíaca — avaliação quantitativa de risco e prognóstico.

* ECG — eletrocardiograma

** EEG — eletroencefalograma

Fonte: desenvolvimento do autor.

Observações Clínicas

A observação clínica da paciente revelou que a síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) se manifestou como uma condição complexa, combinando componentes cardiológicos e neurológicos. Os principais sintomas incluíam taquicardia paroxística recorrente, episódios sincopais, convulsões e disfunção autonômica. Muitos desses sinais permaneceram latentes ou sutis até serem desencadeados por estresse fisiológico ou intervenções cirúrgicas, o que dificultou o diagnóstico precoce e frequentemente levou a um manejo inicial inadequado.

A análise do histórico cirúrgico sugeriu que a apendicectomia durante a adolescência pode ter atuado como gatilho fisiológico para a ativação da síndrome de WPW latente. O estresse cirúrgico, combinado à anestesia geral, provavelmente induziu hipóxia cerebral aguda, inicialmente interpretada de forma equivocada como um distúrbio convulsivo primário. Consequentemente, foi prescrito à paciente o

fármaco antiepiléptico carbamazepina, que se mostrou ineficaz e potencialmente prejudicial, pois pode agravar distúrbios de condução atrioventricular [3,4].

Análise Retrospectiva e Implicações Clínicas

A avaliação retrospectiva evidencia a necessidade de uma abordagem diagnóstica multinível em casos de apresentações ambíguas da síndrome de WPW. Essa abordagem inclui:

- Documentação abrangente da frequência e duração dos episódios sincopais e taquicárdicos;
- Correlação dos eventos arrítmicos com gatilhos fisiológicos ou emocionais externos;
- Avaliação detalhada das disfunções do sistema nervoso autonômico por meio de testes de provocação térmica e outros estudos funcionais;
- Implementação de uma estrutura interdisciplinar integrando cardiologia, neurologia, psiquiatria e serviços de reabilitação, com o objetivo de desenvolver estratégias de tratamento e suporte individualizadas.

Resultados Clínicos e Sociais

A aplicação dessa metodologia permite aos clínicos:

1. Prevenir diagnósticos psiquiátricos equivocados baseados em sintomas mediados neurologicamente;
2. Detectar precocemente arritmias subclínicas e identificar suas consequências neurológicas associadas;
3. Otimizar estratégias terapêuticas, incluindo intervenções cardiológicas direcionadas;
4. Fundamentar a reavaliação do status de incapacidade com base em achados cardiológicos objetivos, especialmente em pacientes previamente classificados de forma incorreta em categorias psiquiátricas [7,9].

Este caso clínico destaca a interação complexa entre intervenções cirúrgicas precoces, síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) latente e manifestações neurológicas secundárias. Demonstra que, sem detecção oportuna e avaliação interdisciplinar, a apresentação clínica pode ser mal interpretada, retardando o tratamento eficaz. Os achados reforçam a importância de vias clínicas estruturadas para o manejo de pacientes que apresentam sobreposição de características cardiológicas e neurológicas, particularmente em situações em que o erro diagnóstico pode comprometer os resultados terapêuticos a longo prazo e a elegibilidade para apoio social.

Modelos Matemáticos em Cardiologia Clínica

Os modelos matemáticos em cardiologia clínica formalizam os processos eletrofisiológicos do coração, fornecem avaliações quantitativas da função cardíaca e permitem prever a eficácia das intervenções terapêuticas. Para pacientes com

síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), essa modelagem é particularmente crucial devido à presença de uma via acessória de condução entre os átrios e os ventrículos, que provoca excitação ventricular prematura e aumenta o risco de taquiarritmias supraventriculares.

Os modelos modernos possibilitam a simulação da atividade elétrica cardíaca em diferentes níveis:

- **Modelos de canais iônicos celulares** – descrevem a despolarização e a repolarização dos cardiomiócitos, as correntes de sódio, potássio e cálcio, e suas interações, que constituem a base da ocorrência de extrassístoles e taquicardias [1,2].
- **Modelos de condução tecidual** – simulam a propagação da excitação pelos átrios, ventrículos e vias acessórias, avaliando o risco de arritmias na síndrome de WPW [3].
- **Modelos em nível de órgão e hemodinâmicos** – integram a eletrofisiologia com parâmetros cardiovasculares para avaliar o impacto de intervenções farmacológicas ou invasivas, incluindo a ablação por cateter [4].
- **Modelos de risco e prognóstico** – integram dados clínicos, eletrocardiográficos e invasivos para estimar a probabilidade de arritmias potencialmente fatais [5].

A integração desses modelos permite a criação de simulações digitais personalizadas do coração, que reproduzem características anatômicas e eletrofisiológicas individuais, bem como respostas específicas à terapia. Tais modelos possibilitam prever os resultados de ablação e de intervenções farmacológicas, avaliar riscos e otimizar parâmetros de procedimentos. Consequentemente, contribuem para o desenvolvimento de planos de tratamento personalizados para pacientes com síndrome de WPW e arritmias correlatas, aumentando a precisão das decisões clínicas e a segurança da assistência médica.

1. Frequência Cardíaca Durante Taquicardia

O cálculo da frequência cardíaca (FC) baseia-se na medição do intervalo RR em um eletrocardiograma (ECG) (Equação 1):

$$FC = \frac{60}{RR} \quad (1)$$

Onde:

FC (Frequência Cardíaca) — frequência ventricular, batimentos por minuto (bpm);

60 — número de segundos em um minuto (conversão de unidade);

RR — intervalo entre duas ondas R consecutivas no ECG, em segundos.

Fonte: [10, 11]

Em pacientes com síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), o desenvolvimento de taquicardia paroxística é acompanhado por distúrbios

significativos do ritmo cardíaco, com frequências que podem ultrapassar 180–220 batimentos por minuto (bpm). Nesses casos, o período diastólico é acentuadamente reduzido, limitando a perfusão coronariana e resultando em diminuição do débito cardíaco. Consequentemente, desenvolve-se instabilidade hemodinâmica, manifestada por hipotensão arterial, tontura, síncope e isquemia miocárdica.

O mecanismo fisiopatológico subjacente a esse fenômeno é a presença de uma via acessória de condução (feixe de Kent), que provoca despolarização ventricular prematura e estabelece as condições para a circulação retrógrada de impulsos (reentrada). A taquicardia prolongada nesses níveis pode resultar em insuficiência cardíaca aguda, fibrilação atrial ou até fibrilação ventricular, representando uma ameaça imediata à vida do paciente.

Portanto, o diagnóstico oportuno, a avaliação eletrofisiológica e a escolha adequada da terapia antiarrítmica — incluindo a ablação por radiofrequência da via acessória — são fundamentais para prevenir complicações graves e estabilizar os parâmetros hemodinâmicos.

2. Intervalo PR e Duração do QRS

A avaliação do intervalo PR e da duração do complexo QRS é essencial para o diagnóstico da síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) e para a estratificação do risco arrítmico. A medição precisa desses intervalos fornece informações sobre a condução atrioventricular e ajuda a diferenciar a WPW de outras anomalias supraventriculares.

O intervalo PR, que vai do início da onda P ao início do complexo QRS, reflete o tempo total de condução elétrica desde o nodo sinoatrial, pelo miocárdio atrial e nodo AV, até os ventrículos via sistema His–Purkinje.

Em pacientes com WPW, observa-se tipicamente um intervalo PR encurtado (<120 ms), devido à presença de uma via acessória atrioventricular, o feixe de Kent, que contorna o atraso fisiológico do nodo AV e permite despolarização ventricular precoce. Isso gera a onda delta característica no ECG e alarga o complexo QRS. A ativação ventricular precoce altera padrões de excitação e pré-disponibiliza os pacientes para taquiarritmias por reentrada, destacando a importância da análise precisa de PR e QRS no diagnóstico e avaliação de risco.

A duração do complexo QRS nesses pacientes é frequentemente prolongada, com onda delta inicial, refletindo despolarização precoce pela via acessória junto à condução normal pelo nodo AV. A morfologia do QRS permite localizar a via acessória (esquerda, direita ou septal), informação crucial para o planejamento de tratamento intervencionista, especialmente a ablação por radiofrequência (RFA).

A análise sistemática da relação entre intervalo PR e duração do QRS permite avaliar a atividade eletrofisiológica ventricular e os riscos de

taquiarritmias, incluindo taquicardia supraventricular paroxística e fibrilação ventricular. Alterações nesses intervalos ajudam a diferenciar a WPW de outras formas de pré-excitação e integram os dados do ECG em modelos prognósticos.

Portanto, a medição detalhada e a análise morfológica dos intervalos PR e QRS constituem etapas essenciais na avaliação eletrofisiológica de pacientes com suspeita de WPW. Isso garante estratificação de risco precisa, fundamenta a escolha da terapia invasiva ou farmacológica e permite prever o curso clínico das arritmias, sendo diretamente relevante para reduzir o risco de morte súbita cardíaca e complicações relacionadas a taquiarritmias (Equação 2).

$$PR = t_{A-H} + t_{H-V}, \quad QRS = t_V \quad (2)$$

Onde:

PR — do início da despolarização atrial ao início da despolarização ventricular, em ms.

t_{A-H} — tempo de condução dos átrios ao nodo AV, em ms.

t_{H-V} — tempo de condução do nodo AV aos ventrículos, em ms.

QRS — duração da despolarização ventricular, em ms.

t_V — duração da despolarização ventricular, em ms.

Fonte: [11, 12]

Em pacientes com WPW, o intervalo PR é geralmente curto (<120 ms), e o complexo QRS alargado (>110 ms), sinais clássicos de pré-excitação.

3. Período Refratário Eficaz da Via Acessória (APERP)

O período refratário eficaz da via acessória (APERP) é um parâmetro-chave na avaliação eletrofisiológica da síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) e de outros distúrbios de condução envolvendo vias acessórias. O APERP define o intervalo mínimo entre dois estímulos durante o qual a via acessória pode conduzir um impulso sem permitir a reativação dos átrios ou ventrículos.

Clinicamente, isso é altamente significativo: um APERP curto está associado a maior risco de taquicardia supraventricular paroxística e arritmias ventriculares potencialmente fatais, incluindo fibrilação ventricular.

Para avaliação do risco de arritmias perigosas, o APERP pode ser expresso da seguinte forma (Equação 3):

$$APERP = t_{\text{refratário}} \quad (3)$$

Onde:

APERP — intervalo mínimo (ms) durante o qual a via acessória não conduz um novo impulso;

$t_{\text{refratário}}$ — período refratário medido, em ms.

Fonte: [13, 14]

Formalmente, o APERP é definido como o menor intervalo S1–S2 durante estimulação atrial ou ventricular programada em que a via acessória conduz um impulso aos ventrículos sem bloqueio.

Estudos demonstram que um APERP curto (<250 ms em adultos) é preditor independente de arritmias perigosas, enquanto um APERP prolongado (>300 ms) indica baixo risco de distúrbios de ritmo graves. O APERP também é influenciado por fatores do sistema nervoso autônomo, equilíbrio eletrolítico, uso de fármacos antiarrítmicos e alterações estruturais do miocárdio, enfatizando a necessidade de uma abordagem abrangente e individualizada para avaliação do risco arritmico.

4. Comprimento do Ciclo da Taquicardia (TCL)

O comprimento do ciclo da taquicardia (TCL) caracteriza o intervalo de tempo entre dois complexos QRS consecutivos durante a taquicardia e reflete a taxa de ativação do circuito de reentrada cardíaco. O TCL é um parâmetro crítico para compreender os mecanismos que sustentam a arritmia, particularmente a circulação do impulso através de vias acessórias ou regiões dos átrios e ventrículos.

A medição do TCL permite avaliar:

- A frequência cardíaca durante a taquicardia;
- A estabilidade e persistência do circuito arritmico;
- O risco de distúrbios hemodinâmicos, incluindo redução do débito cardíaco e isquemia miocárdica;
- Os efeitos potenciais de fármacos antiarrítmicos na lentificação ou bloqueio da circulação do impulso.

O TCL também é utilizado no planejamento de intervenções invasivas, especialmente na ablação por radiofrequência por cateter. O conhecimento do comprimento do ciclo permite a seleção ideal dos parâmetros de estimulação e a identificação de áreas críticas de condução. O TCL serve ainda como marcador prognóstico: ciclos curtos indicam ativação miocárdica mais frequente, maior risco de arritmias ventriculares e curso clínico mais grave.

O comprimento do ciclo da taquicardia é determinado como o intervalo RR durante a arritmia (Equação 4):

$$TCL = t_{RR\_tachy} \quad (4)$$

Onde:

TCL (Tachycardia Cycle Length) — duração de um ciclo de taquicardia, em ms;

t_{RR_tachy} — intervalo RR durante a taquicardia, em ms.

Fonte: [11, 15]

Ciclos encurtados correlacionam-se com maior risco de arritmias perigosas, piora hemodinâmica e prognóstico clínico desfavorável, enquanto ciclos prolongados estão geralmente associados a arritmia mais estável e menor risco de complicações. A incorporação do TCL na avaliação abrangente do paciente permite individualizar o tratamento, incluindo farmacoterapia e seleção de estratégias de ablação por cateter.

5. Eficácia da Ablação por Radiofrequência

A ablação por radiofrequência (RFA) é o tratamento padrão-ouro para a síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) e outros distúrbios de condução envolvendo vias acessórias. A eficácia do procedimento é determinada pela sua capacidade de eliminar completamente a via de condução patológica e prevenir episódios recorrentes de taquicardia paroxística.

Clinicamente, uma RFA eficaz assegura:

- Normalização da condução eletrocardiográfica;
- Eliminação ou redução significativa da frequência de episódios de taquicardia supraventricular;
- Redução do risco de arritmias ventriculares, fibrilação ventricular e morte súbita cardíaca.

A eficácia da ablação por radiofrequência é formalmente avaliada pelo índice (Equação 5):

$$P_{\text{success}} = \frac{N_{\text{abolished}}}{N_{\text{attempts}}} \times 100\% \quad (5)$$

Onde:

P_{success} — taxa de sucesso do procedimento, %;

$N_{\text{abolished}}$ — número de vias acessórias ablacionadas com sucesso;

N_{attempts} — número total de tentativas de ablação.

Fonte: [14, 16]

Estudos demonstram que a eficácia da RFA em pacientes adultos com WPW supera 95%, enquanto o risco de recorrência da taquicardia após um procedimento corretamente realizado permanece baixo (<5%). Fatores-chave que influenciam o sucesso da ablação incluem a localização da via acessória, características anatômicas do miocárdio, tratamento farmacológico prévio e experiência do eletrofisiologista.

A avaliação da eficácia da RFA não se limita aos parâmetros eletrofisiológicos. Inclui também a análise do estado clínico do paciente pós-procedimento, ausência de episódios recorrentes de taquicardia e normalização da função cardíaca durante o seguimento. Esta abordagem abrangente permite avaliar tanto o sucesso técnico da intervenção quanto o benefício clínico a longo prazo para o paciente.

Contexto Clínico

Os modelos matemáticos dos processos eletrofisiológicos são relevantes na cardiologia clínica, permitindo avaliar quantitativamente a carga arritmogénica, o risco de síncope e instabilidade hemodinâmica, além de fundamentar a estratégia e o momento da ablação por radiofrequência (RFA). São especialmente importantes em pacientes com síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), em que a pré-excitação ventricular por via acessória pode causar taquiarritmias paroxísticas, com palpitações, tontura, síncope e risco de morte súbita.

Os parâmetros quantitativos calculados com base nesses modelos permitem avaliar limiares críticos que determinam a necessidade de intervenção. As constantes utilizadas (60 para conversão de segundos em minutos, 1000 para conversão de milissegundos em segundos, limites normais para intervalos PR, QRS e APERP) baseiam-se em padrões eletrofisiológicos internacionais, garantindo reprodutibilidade e conformidade com protocolos clínicos.

Dessa forma, esses modelos integram dados eletrofisiológicos à prática clínica, facilitando a otimização do diagnóstico e do tratamento de pacientes com WPW.

1. ***Distúrbio congênito de condução – Síndrome WPW:***

- ***Mecanismo:*** O feixe de Kent cria uma via atrioventricular acessória, permitindo que os impulsos elétricos contornem o nodo AV.
- ***Consequências:*** Desenvolvimento de taquicardia por reentrada, aumento do risco de arritmias supraventriculares e ventriculares.
- ***Manifestações clínicas:*** Paroxismos de taquicardia, que podem permanecer silenciosos até serem provocados (estresse, cirurgia, medicação).

2. ***Arritmia e isquemia cerebral transitória:***

- ***Mecanismo:*** Estresse cirúrgico ou anestesia podem provocar arritmia ou parada cardíaca transitória.
- ***Consequências:*** Redução do débito cardíaco e da perfusão cerebral, alterações pré- e pós-hipóxicas.
- ***Manifestações clínicas:*** Perda temporária de consciência, fraqueza, comprometimento cognitivo.

3. ***Manifestações neurológicas pós-operatórias:***

- ***Mecanismo:*** Hipóxia cerebral desencadeia atividade neuronal epileptiforme e crises autonômicas.
- ***Consequências:*** Episódios convulsivos e ataques sincopais, mimetizando epilepsia.
- ***Manifestações clínicas:*** Convulsões generalizadas, sintomas cardio-autonômicos.

4. ***Diagnóstico incorreto na idade adulta jovem:***

- ***Mecanismo:*** Falta de avaliação cardiológica abrangente leva à interpretação equivocada de crises como epilepsia.
- ***Consequências:*** Administração de carbamazepina aumenta o risco de arritmias ventriculares em pacientes com WPW.
- ***Manifestações clínicas:*** Exacerbação da taquicardia, crises recorrentes, episódios sincopais.

5. ***Progressão das complicações cardíacas:***

- ***Mecanismo:*** Arritmia crônica e taquicardias recorrentes promovem alterações estruturais cardíacas e hipóxia cerebral.

- **Consequências:** Ciclo vicioso: arritmia → hipóxia → crises → exacerbação da arritmia.
- **Manifestações clínicas:** Episódios sincopais frequentes, deterioração das funções cognitivas e físicas.

6. **Disfunção autonômica crônica e consequências sociais:**

- **Mecanismo:** Arritmia prolongada combinada com diagnóstico psiquiátrico equivocado causa desequilíbrio autonômico.
- **Consequências:** Atraso no tratamento direcionado, sobrecarga psicoemocional, má adaptação social.
- **Manifestações clínicas:** Fadiga, medo de novas crises, isolamento social.

Esta cascata fisiopatológica demonstra a estreita interação entre anomalias congênitas de condução, estresse cirúrgico, hipóxia cerebral e complicações neurológicas secundárias. O requisito fundamental é a avaliação multidisciplinar precoce (cardiologista, neurologista, anesthesiologista, psiquiatra) para prevenir complicações crônicas e minimizar as consequências a longo prazo.

Resultados

O caso clínico de uma paciente do sexo feminino, nascida em 1975, ilustra a evolução complexa da síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) com manifestações neurológicas, autonômicas e cardiológicas pronunciadas, que permaneceram subestimadas por um período prolongado. Desde a infância, a paciente apresentou episódios de palpitações, dispneia e arritmias, indicando distúrbios latentes de condução combinados com desregulação autonômica, o que contribuiu para sintomas neurológicos ocultos e dificultou o diagnóstico precoce.

Em 1990, aos 15 anos, após uma apendicectomia sob anestesia geral, ocorreu um provável episódio de parada circulatória transitória, resultando em perda de consciência repetida, crises convulsivas generalizadas e taquicardia paroxística. Essas manifestações provavelmente foram secundárias à hipóxia perioperatória, enfatizando o papel dos insultos perioperatórios como desencadeadores da WPW latente.

Em 1991, durante avaliação na Instituição Estatal “Instituto de Pesquisa em Saúde da Criança e do Adolescente N.K. Krupskaya” (Kharkiv), aos 16 anos, a paciente foi diagnosticada pela primeira vez com síndrome de WPW. O diagnóstico foi confirmado em 1994 no Instituto Nacional de Terapia L.T. Mali (Academia Nacional de Ciências Médicas da Ucrânia), quando a paciente completou 19 anos. A avaliação ecocardiográfica revelou estenose crítica da válvula aórtica com gradiente de pressão de 99,2 mmHg, prolapso da válvula mitral de primeiro grau, regurgitação mitral e insuficiência cardíaca crônica em estágio inicial (estágio I). Essas alterações estruturais cardíacas, combinadas com vias atrioventriculares

acessórias, contribuíram para o desenvolvimento de um fenótipo clínico complexo e sobreposto na idade adulta.

Entre 2002 e 2005, a paciente recebeu erroneamente o diagnóstico de “epilepsia”, apesar da presença de patologia cardiológica subjacente, sem a realização de EEG ou neuroimagem. A administração de carbamazepina, contraindicada na WPW, exacerbou as arritmias e levou a déficits cognitivos, ilustrando as consequências da interpretação equivocada de síncope cardiogênica como condição neurológica ou psiquiátrica primária.

Em 2025, aos 50 anos, a avaliação abrangente confirmou a presença de ondas delta, via de condução acessória e taquicardia reentrante atrioventricular (AVRT), déficits cognitivos pós-hipóxicos e dispneia persistente ao esforço. A ausência de documentação cirúrgica arquivada evidencia lacunas no monitoramento perioperatório.

A apresentação estruturada dos dados melhora a clareza, a validade científica das conclusões e facilita a análise adicional dos parâmetros cardíacos (Tabela 2).

Tabela 2. Cronologia dos Eventos Clínicos, Diagnóstico e Tratamento

Ano	Evento / Diagnóstico	Principais Sintomas	Métodos Diagnósticos	Tratamento / Desfecho
1990	Apendicectomia	Perda de consciência, convulsões	Registros cirúrgicos arquivados não disponíveis	Provável parada circulatória, alterações pós-hipóxicas
1991	Diagnóstico inicial de WPW	Palpitações, dispneia, taquicardia	ECG, avaliação clínica	Farmacoterapia conforme padrões da época
1994	Confirmação do diagnóstico	Palpitações, dispneia, taquicardia	ECG, ecocardiografia	Monitoramento ambulatorial, intervenção cardiológica não invasiva
2002–2005	Diagnóstico equivocado de “epilepsia”	Convulsões, perda de consciência	Nenhum EEG ou neuroimagem realizado	Carbamazepina → exacerbação da arritmia, déficits cognitivos
2025	Reavaliação abrangente	Paroxismos, episódios de síncope, sintomas autonômicos	ECG, EEG, teste termoprobador	AVRT* confirmada, hiperreatividade vagal identificada, carbamazepina suspensa

*AVRT — taquicardia reentrante atrioventricular.

Fonte: elaboração do autor

A evolução do caso destaca a interação entre distúrbios latentes de condução, desencadeadores perioperatórios, desregulação autonômica e manifestações neurológicas secundárias. A análise dos sintomas, diagnósticos e respostas terapêuticas permite reconstruir a sequência patogenética, considerando alterações

estruturais cardíacas, atividade do sistema de condução e características das arritmias.

Os dados fornecem uma visão abrangente do curso prolongado da WPW nesta paciente, demonstram o impacto da intervenção cirúrgica de 1990 como desencadeadora de complicações cardio-neurológicas graves e ressaltam a necessidade de reavaliar diagnósticos prévios, bem como o status social e de deficiência da paciente, especialmente após avaliações psiquiátricas inadequadas.

Discussão

A síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) é um distúrbio congênito da condução cardíaca caracterizado pela presença de uma via atrioventricular acessória (feixe de Kent), que permite que os impulsos contornem o nodo AV. Isso frequentemente resulta em taquicardias paroxísticas e arritmias potencialmente fatais, incluindo parada cardíaca súbita. Uma consequência grave é a hipóxia cerebral aguda, que pode provocar manifestações epilépticas secundárias.

No caso clínico apresentado, sintomas cardiológicos e neurológicos coexistiram, complicando o diagnóstico, especialmente sem documentação completa de episódios arrítmicos prévios. É crucial diferenciar manifestações psiquiátricas, cardiológicas e por hipóxia, pois interpretações equivocadas podem levar a conclusões incorretas e tratamento inadequado.

O diagnóstico preciso da WPW requer uma equipe multidisciplinar, incluindo cardiologista, neurologista e eletrofisiologista. Taquicardias paroxísticas podem mimetizar manifestações epilépticas, como crises e perda de consciência, frequentemente resultando em erros diagnósticos. Até 30% dos casos de WPW podem ser interpretados erroneamente como epilepsia, especialmente na ausência de dados cardiológicos objetivos.

Conclusões psiquiátricas incorretas complicam o manejo: a prescrição de antiepilépticos sem avaliação cardiológica pode agravar arritmias e risco de distúrbios ventriculares. Testes provocativos neste caso mostraram instabilidade autonômica, confirmando o envolvimento do sistema nervoso autonômico.

A síndrome WPW pode ser ativada após cirurgia ou anestesia geral, o que neste caso mimetizou manifestações epilépticas e levou a diagnóstico incorreto. O tratamento eficaz consiste na ablação por cateter de radiofrequência da via acessória, reduzindo o risco de taquicardias recorrentes e parada cardíaca súbita.

A ausência de documentação médica completa reforça a necessidade de avaliação médico-social independente, para avaliar a gravidade da condição e o direito a benefícios por incapacidade. Episódios frequentes de síncope associados a taquicardia e manifestações neurológicas secundárias constituem fundamento para reconhecimento oficial de incapacidade, considerando-se a natureza cardiológica e neurológica da condição.

Este caso demonstra a estreita inter-relação entre arritmia cardíaca, hipóxia cerebral e complicações neurológicas secundárias, enfatizando a importância da avaliação multidisciplinar precoce e de uma abordagem cautelosa na prescrição de intervenções antiepilépticas ou psiquiátricas.

Conclusões

Aspectos clínicos:

- Os sintomas da síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) frequentemente mimetizam manifestações epilépticas.
- A combinação de WPW com estenose da válvula aórtica aumenta significativamente o risco de desfechos fatais.
- Epilepsia pós-hipóxica pode se desenvolver após parada cardíaca.
- A administração de terapia antiepiléptica sem monitoramento de ECG pode ser prejudicial.
- Intervenções cirúrgicas, incluindo apendicectomia, podem atuar como gatilhos ou provocar exacerbação das manifestações de WPW.

Diagnóstico e tratamento:

- Colaboração estreita entre cardiologistas e neurologistas é essencial.
- Correção precoce de distúrbios ajuda a prevenir complicações graves.
- As causas da síncope devem ser claramente diferenciadas.
- Testes baseados em temperatura podem detectar disfunções do sistema nervoso autonômico.
- Intervenções terapêuticas devem ser iniciadas apenas após avaliação cardiológica abrangente.

Aspectos médico-sociais:

- Avaliação objetiva é crucial para determinação do status de incapacidade.
- Perda de consciência nem sempre é de origem psiquiátrica.
- O status de incapacidade em pacientes com WPW deve ser revisado com base em critérios clínicos.
- Erros diagnósticos têm consequências sociais significativas.
- Critérios de avaliação de incapacidade devem ser padronizados.

Contexto histórico e prospectivo:

- WPW frequentemente se manifesta durante anestesia geral.
- Historicamente, arritmias eram frequentemente interpretadas erroneamente como crises epilépticas.
- A incapacidade em pacientes com WPW possui, predominantemente, base cardiológica.
- História médica detalhada complementa abordagens diagnósticas modernas e contribui para avaliação mais precisa do paciente.

Referências

1. Cherenko L.M. Diagnóstico Diferencial de Crises Epilépticas e Arritmogénicas // Neurologia e Psiquiatria. – 2020. – Nº 3. – P. 33–37.
2. Bilous V.F. Síndrome de Wolff–Parkinson–White: Aspectos Clínicos e Diagnósticos // Revista Ucraniana de Cardiologia. – 2019. – Nº 2. – P. 47–52.
3. Biletskyi V.S. Encefalopatia Pós-Ressuscitação: Patogênese e Abordagens para Correção // Angiologia Prática. – 2021. – Nº 1. – P. 28–35.
4. Myroniuk I.M. Comorbidade Cardioneurológica: Problemas da Prática Moderna // Perspectivas Médicas. – 2018. – Nº 2. – P. 19–24.
5. Kozak M.V. Distúrbios da Condução Cardíaca: Cardiologia Pediátrica e Casos Clínicos // Pediatria. – 2017. – Nº 1. – P. 13–17.
6. Palamarchuk V.Ye. Distúrbios Autonômicos na Estrutura da Síndrome Arritmica // Jornal Internacional de Neurologia. – 2022. – Nº 5. – P. 55–60.
7. Semeniuk O.V. Abordagem Multidisciplinar em Pacientes com Manifestações Cardioneurológicas // Neurologia Moderna. – 2020. – Nº 4. – P. 41–46.
8. Ministério da Saúde da Ucrânia. Ordem Nº 152 de 17.04.2014 “Aprovação de Protocolos Clínicos para Assistência Médica na Especialidade de Cardiologia”. – Kyiv: Ministério da Saúde da Ucrânia, 2014.
9. Hrynevych N.O. Perícia Médico-Social sob Novas Abordagens à Comorbidade // Medicina Social. – 2023. – Nº 1. – P. 12–16.
10. Kusumoto F.M. Eletrofisiologia Cardíaca Clínica. – 5ª ed. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2021.
11. Josephson M.E. Eletrofisiologia Cardíaca Clínica: Técnicas e Interpretações. – 5ª ed. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2016.
12. Zipes D.P., Jalife J. Eletrofisiologia Cardíaca: Do Célula à Cama do Paciente. – 7ª ed. – Philadelphia: Elsevier, 2018.
13. Wellens H.J.J. O ECG na Síndrome de WPW. – Cardiotext Publishing, 2010.
14. Blomström-Lundqvist C., et al. 2019 ESC Guidelines para o Manejo de Pacientes com Taquicardia Supraventricular // European Heart Journal. – 2019. – 40(38). – P. 3812–3841.
15. Santinelli V., et al. Eletrofisiologia de Vias Acessórias // Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology. – 2015. – 43(1). – P. 25–35.
16. Calkins H., et al. Ablação por Cateter de Vias Acessórias // Circulation. – 2009. – 119(5). – P. e21–e77.

[JA_2]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko
master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

WPW症候群の臨床例

要旨

先天的なウルフ-パーキンソン-ホワイト（WPW）症候群を基盤とし、重度の大動脈弁狭窄症および発作性頻脈を併発した女性患者の複雑な臨床例を記載する。本症例では臨床像がてんかん発作を模倣し、診断に著しい困難をもたらした。房室回帰性頻拍（AVRT）を来す上室性頻拍を、重篤な大動脈弁狭窄を有する患者において発現させたところ、一時的な心拍出量低下および脳虚血をきたし、発作様エピソードおよび意識消失を誘発したものと考察された [1-3]。

本例では、虫垂切除術後の臨床死を伴う経過を、術後症状として誤解したことに起因し、心臓学的検査を欠いたまま抗てんかん治療が行われた経過を強調する [4]。WPW 診断が確認された後も、精神科的側面を重視して障害認定がなされた経緯がある [5]。

遡及的解析により、発作・意識消失・自律神経症状の発現における先天性伝導異常の影響が過小評価されていた点が明らかとなった [6, 7]。

特に、最小限の術中モニタリング（心電図、パルスオキシメトリ、動脈血圧）が、不整脈や低酸素血症を迅速に検出する上で必須であること、および診断に際して、多職種アプローチと、心臓学的所見を考慮した医療・社会的専門判断の見直しの必要性を強調する [8, 9]。

キーワード：ウルフ-パーキンソン-ホワイト症候群；不整脈；てんかん類似発作；虫垂切除術；多職種診断；蘇生後脳症；鑑別診断

はじめに

ウルフ-パーキンソン-ホワイト（WPW）症候群は、副伝導路（ケント束：Kent束）の存在に起因する先天性の心伝導系異常であり、これにより心室の早期興奮が引き起こされ、房室回帰性頻拍（AVRT）などの発作性頻脈を来す可能性がある。通常、AVRT は生命予後に重大な影響を及ぼさないが、アデノシン三リン酸（ATP）や β 遮断薬による治療に良好に反応することが多い [2, 5]。

本症例の患者は、15 歳時に全身麻酔下で虫垂切除術を受けたが、その際 WPW 症候群は診断されなかった。WPW の公式診断は 16 歳時に下され、19 歳時に確定された [1, 6]。その後、27～30 歳の間に、臨床症状はてんかんと誤診されたが、実際には WPW に起因する発作性頻脈が原因であった。

WPW 症例における不整脈は、てんかん発作を模倣することがあり、診断上の大きな課題を伴う。自律神経危機や脳虚血の併発により臨床像はさらに複雑化し、特に若年者においては誤診のリスクが高い [3, 7]。こうした症状を誤って解釈することは、患者に不当な精神科的分類をもたらす、社会的影響を生じうる [9]。

WPW 患者の診断誤りと断片的治療がしばしば見られる現状を踏まえ、本症例を通じて、多職种的アプローチの重要性と、WPW 特性に関する医療者の意識向上を訴えるべきである [8]。特に、術中モニタリング（心電図、パルスオキシメトリ、動脈血圧）を最小限保証することは、不整脈検出と低酸素予防において不可欠である。

研究目的

本研究の目的は、ウルフ–パーキンソン–ホワイト（WPW）症候群を基盤とし、大動脈弁狭窄およびてんかん類似症状を合併した女性患者の臨床例を総合的に分析し、手術の影響および診断上の困難を明らかにすることである。

研究課題

- WPW における発作性不整脈とてんかん発作の鑑別診断を行い、治療戦略および社会支援を洗練させる。
- 虫垂切除術、WPW の発現、および誤診された精神疾患との関連性を分析する。
- てんかんが確定されていない段階でのカルバマゼピン投与の影響を評価する。
- 麻酔が WPW 患者における神経学的合併症誘発因子となり得るかを検討する。
- WPW、自律神経機能異常、てんかん類似発現、および失神状況との病因・発症機序上の関連を探究する。
- 誤った精神科的結論や WPW の発見遅延を踏まえ、医療・社会的専門判断のアプローチ見直しの必要性を強調する。
- 診断が不確定な神経症状例における温度負荷試験（温熱・冷刺激試験など）の追加的診断ツールとしての妥当性を証明する。

最後に、本研究は WPW に伴う併存病理の理解深化、診断アプローチの改善、多職種統合管理下での治療戦略最適化を目指すものである。

材料および方法

研究対象

本研究の対象は、1975年生まれの女性患者であり、ウルフ–パーキンソン–ホワイト（Wolff–Parkinson–White: WPW）症候群と診断されている。研究の目的は、思春期以降の疾患経過を解析し、心臓症状と神経症状の相互作用ならびに既往手術の影響を明らかにすることである [3, 4]。

患者は15歳時に虫垂切除術を受けた。術後、強直間代性けいれんを伴う一過性意識消失発作を繰り返し経験した。当時の手術記録は現存しないが、遡及的解析により、術中もしくは術後に心停止または高度徐脈性不整脈発作が発生した可能性が高いと推定された。このようなエピソードは一過性の循環不全および脳低酸素状態を惹起しうる。低酸素発作は、てんかん症候群に類似する長期的な神経学的後遺症を誘発することが知られている。本患者においては、失神発作、呼吸困難、けいれん、発作後の見当識

障害などが臨床的に出現し、初期段階では特発性てんかんの鑑別が困難であった [3]。

WPW 症候群の初回診断は、1991年（16歳時）にハルキウ市の N.K. クルプスカヤ児童・青年健康研究所で下された。診断は、副伝導路存在を示す特徴的な心室早期興奮パターンを呈した心電図所見に基づいて行われた。最終的な確定診断は、1994年（19歳時）にウクライナ国立医学科学アカデミー L.T. マラ治療学研究所にて得られた。この確定診断は、低酸素性脳障害に関連する二次的神経症状と、原発性心疾患との鑑別に決定的役割を果たした。臨床データの累積解析により、早期の心合併症および術中イベントがその後の神経学的状態に及ぼした影響を追跡的に評価することが可能となった [2]。

したがって、本臨床例は、手術既往、心伝導異常、および神経学的転帰の多因子的相互作用を検討する貴重な機会を提供する。本研究は、心臓専門医と神経内科医が協働して症候の重複を解釈し、リスク層別化の精度を高め、WPW 症候群患者に対して個別化された治療計画を立案するための統合的診断アプローチの必要性を強調するものである。

臨床像の複雑性および電気生理学的・神経学的障害の併存を考慮し、さらなる分析では多層的検査を実施し、機能的障害の確認およびそれらが身体的・心理的状态に及ぼす影響を評価した。これらの包括的手法は、エビデンスに基づく医学原則に準拠し、病態生理および疾患動態の統合的理解を保証した。

信頼性の高い臨床評価を得るために、以下の5つの方法論的グループを適用した。

- **電気生理学的検査** — 心電図（ECG）、ホルター心電図、脳波（EEG）を用い、心律動異常および脳活動変化を検出。
- **神経画像検査** — MRIおよびCTにより、髄膜腫や虚血後変化などの構造的異常を特定。
- **心臓学的評価法** — 心エコー検査、エルゴメトリー、血圧モニタリングを実施し、心疾患と神経性障害との相関を解析。
- **生化学的・内分泌学的検査** — 電解質、ホルモン、神経伝達物質の分析を行い、代謝的側面を明確化。
- **心理生理学および行動評価** — 神経心理検査、および不安・攻撃性尺度を用いて行動・情動変化を評価。

これらの手法の適用により、病態の基礎要因を鑑別し、個別化治療戦略を策定するとともに、薬物療法、リハビリテーション、および社会心理的介入の最適バランスを確立することが可能となった。

診断体系は、各方法論的グループから得られた定性的および定量的指標に基づき、確立された臨床基準に準拠して構築された（表1）。

表1. 診断方法

診断法区分	内容および意義
病歴的解析（Anamnestic）	小児期からの疾病経過を再構成し、虫垂切除術、低酸素発作、臨床症状との関連を特定。
機器的検査（Instrumental）	ECG*、ホルター心電図、心エコー検査により、心電活動・律動異常・血行動態指標を明確化。
神経学的評価（Neurological Assessment）	ビデオEEG**、温度負荷試験、自律神経反応解析を通じて、てんかんと不整脈性発作を鑑別。
分析的統合（Analytical）	臨床症状および病因的相関を統合的に解析し、因果関係を確立。
数理モデル解析（Mathematical Modeling）	低酸素指数、圧較差、心拍変動の算出により、リスクおよび予後を定量的に評価。

*ECG — Electrocardiogram（心電図）

**EEG — Electroencephalogram（脳波図）

出典：著者による作成

臨床観察

患者の臨床観察により、ウルフ-パーキンソン-ホワイト（Wolff-Parkinson-White: WPW）症候群は、心臓学的要素と神経学的要素が複合的に絡み合う病態として発現することが確認された。主要症状は、発作性頻脈、失神発作、けいれん、自律神経機能障害であり、多くの徴候は生理的ストレスや手術侵襲などの誘因が加わるまで潜在的または軽微な状態にとどまっていた。そのため早期診断が困難となり、初期段階での治療対応が不十分となる傾向を示した。

外科的既往の解析では、思春期に実施された虫垂切除術が潜在的WPW症候群の生理学的誘発因子として作用した可能性が示唆された。手術侵襲と全身麻酔による複合的ストレスは急性脳低酸素状態を誘発し、これが一次性てんかん発作と誤認されたと考えられる。その結果、抗てんかん薬カルバマゼピンが投与されたが、本薬は房室伝導障害を悪化させる可能性があり、治療的效果は得られなかった [3, 4]。

遡及的解析と臨床的示唆

本症例の遡及的評価は、WPW症候群の不明瞭な臨床像に対して、多層的診断アプローチの必要性を強調するものである。その主な構成要素は以下の通りである：

- 失神および頻脈発作の頻度と持続時間の詳細な記録；
- 不整脈発作と外的生理的・情動的トリガーとの相関解析；
- 温度負荷試験などの機能的検査を用いた自律神経障害の精査；
- 循環器学・神経学・精神医学・リハビリテーション医療の統合的枠組みを構築し、個別化治療および支援戦略を策定すること。

臨床的および社会的転帰

この診断・管理体系の適用により、臨床医は次のことを実現できる：

1. 神経症状に基づく精神疾患の誤診を防止する；
2. 潜在的不整脈を早期に検出し、それに関連する神経学的結果を特定する；
3. 標的を定めた循環器的介入を含む治療戦略を最適化する；
4. 精神疾患として誤分類された患者に対して、客観的心臓学的所見に基づく障害認定の再評価を正当化する [7, 9]。

この臨床例は、早期外科的介入、潜在的ウルフ・パーキンソン・ホワイト（WPW）症候群、および二次的神経学的症状の複雑な相互作用を示している。適時の検出および学際的評価がなされない場合、臨床像が誤って解釈され、効果的治療の遅延につながる可能性がある。本研究の結果は、循環器および神経学的特徴が重複する患者の管理において、体系的臨床経路の重要性を強調しており、誤診が長期的な治療転帰および社会的支援の可否に悪影響を与える可能性を示唆している。

臨床心臓病学における数理モデル

臨床心臓病学における数理モデルは、心臓の電気生理学的プロセスを形式化し、心機能を定量的に評価し、治療介入の効果を予測するために用いられる。特にWPW症候群患者では、心房と心室の間に副伝導路が存在するため、心室の早期興奮を引き起こし、上室性頻拍性不整脈のリスクを高めることから、モデリングの意義は極めて大きい。

現代の数理モデルは、以下の複数レベルで心電活動のシミュレーションを可能にしている：

- 細胞イオンチャネルモデル：心筋細胞の脱分極・再分極過程、 Na^+ ・ K^+ ・ Ca^{2+} 電流の相互作用を記述し、期外収縮や頻脈の発生基盤を明らかにする [1, 2]。

- 組織伝導モデル：心房・心室・副伝導路における興奮伝播を再現し、WPW症候群における不整脈リスクを評価する [3]。
- 臓器レベルおよび血行動態モデル：電気生理学的パラメータを循環動態と統合し、薬理的治療やカテーテルアブレーションなどの侵襲的介入の効果を評価する [4]。
- リスク・予後モデル：臨床・心電図・侵襲的データを統合し、致死的不整脈発生確率を算出する [5]。

これらのモデルを統合することで、患者個々の解剖学的および電気生理学的特性、ならびに治療反応を反映した「個別化デジタル心臓シミュレーション」の構築が可能となる。これにより、アブレーションおよび薬物療法の効果予測、リスク評価、手技パラメータの最適化が実現される。結果として、WPW症候群および関連不整脈を有する患者に対して、より精密かつ安全な臨床意思決定と個別化治療計画の策定が可能となる。

1. 頻脈時の心拍数

心拍数（Heart Rate, HR）の算出は、心電図（Electrocardiogram, ECG）上の RR 間隔を基礎として以下の式（式 1）にて定義される：

$$HR = \frac{60}{RR} \quad (1)$$

ここで：

HR（Heart Rate）＝心室心拍数（bpm：beats per minute）

60＝1分あたりの秒数（単位変換用）

RR＝心電図上の連続する R 波間隔（秒）

出典：[10, 11]

Wolff–Parkinson–White 症候群（WPW）患者においては、発作性頻脈の進展時、心拍数が 180～220 bpm を超える可能性もあり、それに伴い心電リズムの著しい乱れが観察される。こうした頻拍状態では、心室拡張期（拡張期間隔）が顕著に短縮し、結果として冠血流灌流が制限され、心拍出量が低下する。これにより血行動態の不安定化が惹起され、動脈性低血圧、めまい、失神、心筋虚血などの臨床症状を呈する。

この現象の病態生理的メカニズムとしては、副伝導路（いわゆる ケント束／Kent bundle）の存在が挙げられる。副伝導路の存在により、房室（atrium–ventricle）間の正常な伝導過程が回避され、心室に対して早期興奮が生じ、リエントリー回路が成立しやすくなる。こうした頻拍が

長時間維持されると、急性心不全、心房細動、さらには心室細動へ移行し、患者の生命を即座に危険にさらす可能性がある。

ゆえに、早期の診断、電気生理学的評価、および副伝導路に対する抗不整脈療法（特にカテーテル・ラジオ波アブレーション）の選択が、重篤な合併症を予防し、血行動態の安定化を図る上で極めて重要である。

2. PR 間隔およびQRS 持続時間

PR 間隔およびQRS 複合体の持続時間の評価は、WPW 症候群の診断および関連不整脈リスクの層別化において最も基本的かつ重要な心電図学的パラメータの一つである。これらの間隔を正確に計測することで、房室伝導ダイナミクスを把握し、WPW を他の上室性伝導異常と区別するための重要な知見が得られる。

PR 間隔は、P 波開始から QRS 複合体開始までの時間で、洞結節から房筋・房室結節（AV node）を経てヒス-プルキンエ系（His-Purkinje system）を通り心室へ伝導される電氣的興奮の総伝導時間を反映する。

WPW 症例では、典型的に PR 間隔が短縮（通常 < 120 ms）しており、これは正常な AV 結節内の伝導遅延を回避する副伝導路（セント束）の存在に起因する。副伝導路を介して心室が早期に興奮されるため、心電図上ではデルタ波が出現し、QRS 複合体の幅の拡大を伴うことが多い。これにより心室興奮パターンが変化し、リエントリー性頻拍を誘発しやすく、PR 間隔および QRS 持続時間の精密解析は診断とリスク評価上、極めて臨床的重要性を持つ。

QRS 複合体の持続時間も、これら患者においてしばしば延長を伴い、開始部でのデルタ波を伴う特徴的な形態を呈する。これは副伝導路を介した早期興奮と正常な AV 結節伝導が並行して進行することで生じる。QRS 複合体の形態解析は、副伝導路が左側・右側・中隔部位のいずれかを通るかを推定でき、これはカテーテルによるラジオ波アブレーション（RFA）などの介入治療計画を立案する上で極めて重要である。

PR 間隔と QRS 持続時間の関係を体系的に解析することで、心室電気生理学的活動および頻拍性不整脈（発作性上室性頻拍・心室細動など）のリスクを定量的に評価できる。これらの間隔の特徴的变化を検出することで、WPW を他の前興奮型伝導異常と鑑別し、心電図データを予後リスクモデルに統合することが可能となる。

従って、疑われる WPW 患者に対しては、PR および QRS 間隔の詳細な計測および形態解析が、電気生理学的評価の必須ステップである。

これにより正確なリスク層別化が可能となり，侵襲的治療または薬理的治療の選択を裏付け，突然心臓死および頻拍性不整脈関連合併症のリスク低減に直結する（式 2）。

$$PR = t_{A-H} + t_{H-V}, \quad QRS = t_V \quad (2)$$

ここで：

PR = 房室興奮開始から心室興奮開始までの時間（ms）

t_{A-H} = 房→房室結節（AV node）までの伝導時間（ms）

t_{H-V} = 房室結節から心室までの伝導時間（ms）

QRS = 心室興奮に要する時間（ms）

t_V = 心室興奮時間（ms）

出典：[11, 12]

WPW 患者では，PR 間隔が短く（<120 ms），QRS 複合体が拡大（>110 ms）しており，前興奮の典型的所見である。

3. 副伝導路有効不応期（APERP : Accessory Pathway Effective Refractory Period）

副伝導路有効不応期（Accessory Pathway Effective Refractory Period : APERP）は，Wolff–Parkinson–White（WPW）症候群および副伝導路を伴う他の伝導異常の電気生理学的評価における主要パラメータの一つである。

APERP は，副伝導路が再興奮を許容せずに心房または心室への伝導を阻止する最小の刺激間隔を定義する。

臨床的には，この短縮は発作性上室性頻拍（PSVT）や致死性心室性不整脈（心室細動など）のリスク上昇と関連し，重要な予後指標となる。

危険な不整脈のリスク評価において，APERP は次式（式 3）により表される：

$$APERP = t_{\text{refractory}} \quad (3)$$

ここで：

APERP：副伝導路が新たな刺激を伝導しない最短間隔（ms）

$t_{\text{refractory}}$ ：測定された不応期（ms）

出典：[13, 14]

形式的には，APERP はプログラム刺激（心房または心室）における S1–S2 間隔のうち，副伝導路が心室への伝導を維持しつつブロックを生じない最短間隔として定義される。

研究によれば，短い APERP（成人では < 250 ms）は危険な不整脈の独立した予測因子であり，逆に 300 ms を超える延長した APERP は重度リズム障害のリスク低下を示す。

また APERP は、自律神経系の緊張、電解質バランス、抗不整脈薬の使用、心筋構造変化など多因子の影響を受けるため、個別化された包括的リスク評価が求められる。

4. 頻脈周期長 (TCL : Tachycardia Cycle Length)

頻脈周期長 (Tachycardia Cycle Length : TCL) は、頻拍時の連続する QRS 複合体間の時間間隔を示し、リエントリー回路を含む心筋再興奮サイクルの速度を反映する指標である。

TCL は、不整脈の維持機序を理解する上で重要な指標であり、特に副伝導路や心房・心室内の興奮循環解析に不可欠である。

TCL の測定により、以下を評価できる：

- 頻拍時の心拍数
- 不整脈回路の安定性および持続性
- 心拍出量低下や心筋虚血を含む血行動態障害のリスク
- 抗不整脈薬による興奮伝導遅延またはブロック効果の推定

さらに、TCL は侵襲的介入（特にカテーテル・ラジオ波アブレーション）計画にも応用され、サイクル長の把握は最適な刺激パラメータ選択および重要伝導領域の特定に寄与する。

短い TCL は心筋興奮頻度の増加、心室性不整脈リスク上昇、および臨床経過の重症化を示唆する予後指標となる。

頻脈周期長は、不整脈発作時の RR 間隔として定義される（式 4）：

$$TCL = t_{RR\_tachy} \quad (4)$$

ここで：

TCL (Tachycardia Cycle Length) : 1 回の頻拍サイクルの持続時間 (ms)

t_{RR_tachy} : 頻拍時の RR 間隔 (ms)

出典：[11, 15]

短縮した TCL は危険な不整脈発生リスク上昇、血行動態悪化、予後不良と強く相関する。一方、延長した TCL は不整脈の安定性を示し、合併症リスクが低い傾向を示す。

TCL を包括的評価に組み込むことで、薬物療法およびカテーテル・アブレーション戦略の個別化治療方針を策定できる。

5. ラジオ波アブレーション (RFA) の治療効果

ラジオ波アブレーション (Radiofrequency Ablation : RFA) は、WPW 症候群および副伝導路を伴う他の伝導障害に対する**標準治療法 (gold standard) **である。

本手技の有効性は、病的副伝導路を完全に除去し、発作性頻拍の再発を防止できるかによって評価される。

臨床的に有効な RFA は以下を保証する：

- 心電図上の伝導異常の正常化
- 上室性頻拍発作の消失または著明な減少
- 心室性不整脈・心室細動・突然死リスクの低減

RFA の治療成功率（有効率）は、次式（式 5）で定義される：

$$P_{\text{success}} = \frac{N_{\text{abolished}}}{N_{\text{attempts}}} \times 100\% \quad (5)$$

ここで：

P success：手技成功率（%）

N abolished：成功裏に焼灼された副伝導路の数

N attempts：アブレーション試行総数

出典：[14, 16]

研究報告によれば、成人 WPW 症例における RFA の成功率は 95 % を超え、適切に施行された場合の頻拍再発率は 5 % 未満である。

成功に影響する主な要因は、副伝導路の局在、心筋の解剖学的特徴、既往薬物療法、および術者の経験である。

RFA の効果判定は電気生理学的指標のみに限定されず、術後の臨床経過、全身状態の改善、再発頻拍の消失、およびフォローアップ時の心機能正常化を含む包括的評価によって行うことが推奨される。

この多層的評価により、介入手技の技術的成功だけでなく、患者にとっての長期的臨床的利益を総合的に判定することが可能となる。

臨床的背景

心電気生理学的プロセスの数理モデルは、臨床心臓病学において実践的意義を持つ。これらのモデルは、不整脈負荷の定量評価、失神や血行動態不安定リスクの評価、ラジオ波アブレーション（Radiofrequency Ablation：RFA）の戦略およびタイミングの正当化を可能にする。特に Wolff-Parkinson-White（WPW）症候群患者においては、副伝導路を介した心室の早期興奮が発作性頻拍性不整脈を引き起こし、動悸、めまい、失神、さらには突然死のリスクとして臨床に現れる。

数理モデルを用いた定量的パラメータの算出により、介入の必要性を決定する臨界閾値を評価することが可能となる。秒を分に換算する 60、ミリ秒を秒に換算する 1000、PR・QRS・APERP 間隔の正常範囲などの定数

は、国際的な電気生理学的標準に基づいており、再現性と臨床プロトコールとの整合性を担保する。

したがって、これらの数理モデルは、電気生理学的データを臨床実践に統合し、WPW 患者の診断・治療の最適化を促進する。

1. 先天性伝導障害 — WPW症候群

- メカニズム：ケント束（Kent bundle）により副伝導路が形成され、心房-心室結節（AV node）を経由せずに電気信号が伝導される。
- 結果：リエントリー性頻拍の発生、上室性および心室性不整脈のリスク増大。
- 臨床症状：頻拍発作は誘因（ストレス、手術、薬剤）まで自覚されない場合がある。

2. 不整脈および一過性脳虚血

- メカニズム：手術侵襲や麻酔により不整脈または一過性心停止が誘発される。
- 結果：心拍出量および脳灌流の低下、前・後低酸素性変化の発生。
- 臨床症状：一過性意識喪失、脱力感、認知機能障害。

3. 術後神経学的症状

- メカニズム：脳低酸素がてんかん様ニューロン活動および自律神経危機を誘発する。
- 結果：けいれん発作および失神発作が出現し、てんかんを模倣する。
- 臨床症状：全身性発作、心臓-自律神経症状。

4. 若年成人期の誤診

- メカニズム：包括的循環器評価の欠如により、発作がてんかんとして誤認される。
- 結果：カルバマゼピン投与により WPW 患者の心室性不整脈リスクが増大。
- 臨床症状：頻拍悪化、発作の再発、失神発作。

5. 心臓合併症の進行

- メカニズム：慢性不整脈および反復頻拍により心筋構造変化と脳低酸素が進行する。
- 結果：悪循環（不整脈 → 低酸素 → 発作 → 不整脈悪化）が生じる。
- 臨床症状：失神発作の頻発、認知・身体機能の低下。

6. 慢性自律神経障害および社会的影響

- メカニズム：長期不整脈と誤診精神疾患により自律神経不均衡が生じる。

- 結果：標的治療の遅延、精神-情動負荷、社会適応の困難。
- 臨床症状：倦怠感、新規発作への恐怖、社会的孤立。

この病態生理学的カスケードは、先天性伝導異常、手術ストレス、脳低酸素、および二次的神経学的合併症の密接な相互作用を示している。慢性合併症の予防と長期的影響の最小化のためには、**早期の学際的評価（循環器科、神経内科、麻酔科、精神科）**が不可欠である。

結果

1975年生まれの女性患者の臨床例は、神経学的、自律神経的および心臓学的症状が顕著でありながら長期間過小評価されていたウルフ・パーキンソン・ホワイト（WPW）症候群の複雑な経過を示している。幼少期より、動悸、呼吸困難、心律異常のエピソードを経験しており、潜在的な伝導障害と自律神経調節異常が併存し、隠れた神経学的症状の出現と早期診断の難航に寄与していた。

1990年、15歳時に全身麻酔下で虫垂切除術を受けた後、短時間の循環停止の可能性がある、意識消失、全身性発作および発作性頻拍を反復。これらの症状は周術期低酸素による二次的影響であった可能性が高く、潜在性WPWを誘発する周術期ストレスの重要性を示している。

1991年、16歳時にハリコフ州立「N.K.クルプスカヤ児童・青年保健研究所」での診察により、初めてWPW症候群と診断された。診断は1994年、19歳時にウクライナ国立医療科学アカデミー附属L.T.マリ国立療養研究所にて確認された。心エコー検査では、大動脈弁狭窄（圧較差99.2 mmHg）、I度僧帽弁逸脱、僧帽弁逆流、初期段階の慢性心不全（ステージI）が認められた。これらの構造的疾患変化は、追加の房室伝導路と相まって、成人期に複雑かつ重複する臨床表現型の形成に寄与していた。

2002年から2005年にかけて、患者は基礎心疾患が存在するにもかかわらず、「てんかん」と誤診され、EEGや神経画像診断は行われなかった。WPWでは禁忌であるカルバマゼピンの投与により、心律異常が悪化し認知機能障害を呈した。このことは、心原性失神を一次性神経学的または精神医学的疾患と誤認した場合の結果を示している。

2025年、50歳時の包括的評価により、デルタ波、付加伝導路、房室リエントリー性頻拍（AVRT）、低酸素後認知障害、持続する労作時呼吸困難が確認された。手術記録の欠如は、周術期モニタリングの不備を示唆している。

データを体系的に提示することにより、結果の明確性、科学的妥当性が向上し、心臓学的パラメータのさらなる解析が可能となる（表2参照）。

2. 臨床経過、診断、治療の年表

年	出来事／診断	主な症状	診断法	治療／経過
1990	虫垂切除術	意識消失、発作	手術記録なし	循環停止の可能性、低酸素後変化
1991	WPW症候群初診断	動悸、呼吸困難、頻拍	心電図、臨床評価	当時の標準に準じた薬物療法
1994	診断確認	動悸、呼吸困難、頻拍	心電図、心エコー	外来フォロー、非侵襲的心臓治療
2002-2005	誤診「てんかん」	発作、意識消失	EEG・画像診断なし	カルバマゼピン投与 → 心電異常悪化、認知障害
2025	包括的再評価	発作性症状、失神、自律神経症状	心電図、EEG、温度プローブ検査	AVRT確認、迷走神経過反応性、カルバマゼピン中止

*AVRT — 房室リエント

リー性頻拍

出典: 著者作成

本症例の経過は、潜在的伝導障害、周術期誘因、自律神経調節異常および二次的神経学的症状の相互作用を明らかにする。症状、診断、治療反応の解析により、構造的疾患、伝導系活動、心電異常の特性を考慮した病態生理学的連鎖の再構築が可能である。

これらのデータは、患者のWPW症候群の長期経過を包括的に示すとともに、1990年の手術介入が重篤な心・神経合併症の誘因となったことを示し、過去の診断や不適切な精神科評価後の社会的・障害ステータスの再評価の必要性を強調している。

考察

ウルフ・パーキンソン・ホワイト（WPW）症候群は、付加房室伝導路（ケント束）の存在により、心房-心室結節（AVノード）を經由せずに電気インパルスが伝導される先天性心臓伝導障害である。この異常は発作性頻拍や突然心停止を含む生命を脅かす不整脈を引き起こす可能性がある。重篤な二次的影響として急性脳低酸素症があり、これにより二次的にてんかん様症状を誘発する場合がある。

本症例では、心臓学的および神経学的症状が併存しており、特に過去の不整脈エピソードに関する完全な医療記録が存在しない場合、診断過程

を複雑化させた。精神科的、心臓学的、低酸素誘発性症状を正確に鑑別することが重要であり、誤認は誤診および不適切な治療につながる可能性がある。

WPWの正確な診断には、心臓専門医、神経科医、電気生理学専門医を含む多職種チームによる評価が必要である。発作性頻拍は、発作や意識消失を伴うてんかん様症状を模倣することがあり、診断誤りの原因となる。WPW症例の最大30%は、客観的心臓学データが欠如している場合に、てんかんと誤診されることがある。

誤った精神科的結論は患者管理を複雑化する。心臓学的評価なしに抗てんかん薬を処方すると、不整脈を悪化させ、心室性障害のリスクを高める。本症例では、挑発試験により自律神経不安定性が明らかとなり、自律神経系の関与が確認された。

WPW症候群は、手術や全身麻酔後に活性化されることがあり、本症例ではこれがてんかん様症状を模倣し、誤診につながった。有効な治療は、付加伝導路に対する高周波カテーテルアブレーションであり、再発性頻拍および突然心停止のリスクを低減する。

完全な医療記録の欠如は、病態の重症度や障害認定の適格性を評価する独立した医療社会的評価の必要性を強調している。頻回の失神発作と頻拍および二次的神経学的症状は、心臓学的および神経学的側面を考慮した上で、公式な障害認定の根拠となり得る。

本症例は、心臓性不整脈、脳低酸素症、および二次的神経学的合併症の密接な関連を示しており、早期の多職種評価と抗てんかん薬や精神科治療の慎重な適応の重要性を強調している。

結論

臨床的側面

- ウルフ・パーキンソン・ホワイト（WPW）症候群の症状は、しばしばてんかん様発作と類似する。
- WPWと大動脈弁狭窄の併存は、致命的転帰のリスクを有意に増加させる。
- 心停止後に低酸素性てんかんが発症する場合がある。
- 心電図モニタリングなしでの抗てんかん薬投与は有害となり得る。
- 虫垂切除術を含む外科的介入は、WPW症状の誘発または増悪因子となる可能性がある。

診断および治療

- 心臓専門医と神経科医の緊密な連携が不可欠である。

- 早期の伝導障害是正は重篤な合併症の予防に寄与する。
- 失神の原因は明確に鑑別される必要がある。
- 温度プローブ検査により、自律神経系の機能異常を検出できる。
- 治療介入は、包括的な心臓学的評価後にのみ開始すべきである。

医療社会的側面

- 障害認定のためには客観的評価が極めて重要である。
- 意識消失は必ずしも精神疾患起因ではない。
- WPW患者の障害認定は臨床的基準に基づき再評価されるべきである。
- 診断誤りは社会的影響が大きい。
- 障害評価基準の標準化が必要である。

歴史のおよび将来的文脈

- WPWは全身麻酔下でしばしば発現する。
- 歴史的に、不整脈はしばしばてんかん発作と誤認されてきた。
- WPW患者の障害は主に心臓学的基盤に起因する。
- 詳細な病歴聴取は、現代的診断手法を補完し、より正確な患者評価に寄与する。

参考文献

1. チェレンコ L.M. てんかん性発作と不整脈性発作の鑑別診断 // 神経学および精神医学. – 2020. – 第3号. – p.33–37.
2. ビリウス V.F. ウルフ・パーキンソン・ホワイト (WPW) 症候群：臨床的および診断的側面 // ウクライナ心臓学雑誌. – 2019. – 第2号. – p.47–52.
3. ビレツキー V.S. 蘇生後脳症：病態生理と是正へのアプローチ // 実践血管学. – 2021. – 第1号. – p.28–35.
4. ミロニューク I.M. 心・神経学的併存疾患：現代臨床実践の課題 // 医学的展望. – 2018. – 第2号. – p.19–24.
5. コザク M.V. 心臓伝導障害：小児心臓学および臨床症例 // 小児科学. – 2017. – 第1号. – p.13–17.
6. パラマルチュク V.Ye. 不整脈症候群における自律神経障害の構造的特徴 // 国際神経学雑誌. – 2022. – 第5号. – p.55–60.
7. セメニューク O.V. 心・神経学的症状を有する患者における多職種アプローチ // 現代神経学. – 2020. – 第4号. – p.41–46.
8. ウクライナ保健省. 2014年4月17日付命令第152号「心臓病学分野における医療ケアの臨床プロトコルの承認について」. – キーウ: ウクライナ保健省, 2014.

9. フリネヴィチ N.O. 併存疾患に関する新しいアプローチに基づく医療社会的専門評価 // 社会医学. – 2023. – 第1号. – p.12–16.
10. クスモト F.M. Clinical Cardiac Electrophysiology. 第5版. – フィラデルフィア: Wolters Kluwer, 2021.
11. ジョセフソン M.E. Clinical Cardiac Electrophysiology: Techniques and Interpretations. 第5版. – フィラデルフィア: Wolters Kluwer, 2016.
12. ジプス D.P., ジャリフェ J. Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside. 第7版. – フィラデルフィア: Elsevier, 2018.
13. ウェレンズ H.J.J. The ECG in WPW Syndrome. – ミネアポリス: Cardiotext Publishing, 2010.
14. ブロムストローム＝ルンドクヴィスト C. ほか. 2019年ESC上室性頻拍患者管理ガイドライン // European Heart Journal. – 2019. – 40(38). – p.3812–3841.
15. サンティネッリ V. ほか. 付加伝導路の電気生理学 // Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology. – 2015. – 43(1). – p.25–35.
16. コーキンス H. ほか. 付加伝導路のカテーテルアブレーション // Circulation. – 2009. – 119(5). – p.e21–e77.

[UA_3]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumska Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Клінічний випадок менінгіоми у пацієнта з WPW

Анотація

Синдром Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW) — це вроджене порушення серцевої провідності, зумовлене наявністю додаткового провідного шляху (пучок Кента), що призводить до передчасного збудження шлуночків і розвитку пароксизмальних тахіаритмій. У більшості випадків ці стани піддаються медикаментозній терапії, зокрема із застосуванням аденозинтрифосфату та β -блокаторів [1]. Важливо зазначити, що до 20–30% епізодів, які спочатку класифікуються як епілептичні напади, насправді можуть мати кардіогенне або інше неепілептичне походження [2]. Помилки діагностики на початковому етапі можуть спричинити суттєві клінічні та

соціальні наслідки — обмеження прав, стигматизацію та хибне психіатричне маркування [3].

У статті представлено клінічний випадок пацієнтки (рік народження — 1975), яка має тривалу історію захворювання. У 2005 році їй було вперше встановлено діагноз епілепсії, однак подальше спостереження не підтвердило наявності генералізованих нападів. Основними проявами були раптові епізоди втрати свідомості, зумовлені аритміями, асоційованими із синдромом WPW, наявністю анапластичної менінгіоми та хронічною серцевою недостатністю. Діагностичні труднощі ускладнювалися тим, що в дитинстві після апендектомії у пацієнтки стався короткочасний зупин кровообігу та період церебральної гіпоксії, що, ймовірно, сприяло подальшим неврологічним і пухлиноподібним змінам, роблячи цей випадок особливо цінним для мультидисциплінарного аналізу.

З 22 липня по 8 серпня 2025 року пацієнтка перебувала на лікуванні у відділенні нейрохірургії Харківської обласної клінічної лікарні (завідувач — Ю. О. Бабалян). 29 липня 2025 року під керівництвом нейрохірурга А. О. Пшеничного було проведено кістково-пластичну краніотомію з мікрохірургічним видаленням анапластичної менінгіоми правої лобової ділянки. Підтверджені діагнози: об'ємне утворення правої лобової частки, синкопальні стани, синдром WPW, пароксизмальна тахікардія, стан після мікрохірургічного видалення пухлини.

У серпні 2025 року відзначено рецидив тяжкої тахіаритмії (частота серцевих скорочень до 250 уд./хв), що потребувала тривалої невідкладної допомоги та госпіталізації у терапевтичне відділення Лозівського територіального медичного об'єднання. Лікування здійснювалося під наглядом лікаря С. С. Слинька та медичного персоналу. Підтверджені діагнози: синдром WPW, пароксизмальна тахікардія, хронічна серцева недостатність стадії В (класифікація ACC/AHA) зі збереженою фракцією викиду лівого шлуночка, стан після мікрохірургічного видалення пухлини.

Цей клінічний випадок підкреслює необхідність мультидисциплінарного підходу, що включає участь кардіологів, неврологів, нейрохірургів та медико-соціальних експертів, для запобігання помилковим діагнозам, забезпечення точного визначення функціональної та соціальної непрацездатності [4] і оптимізації терапевтичного планування. Соціокультурний аспект випадку ілюструється продовженням творчої активності пацієнтки: попри відсутність вищої освіти, вона є авторкою численних поетичних творів, включених до багатомовної інтерактивної збірки «Перші акорди Світла в Душі». Це демонструє, що творча діяльність може виступати чинником психологічної та соціальної стійкості навіть за умов тяжких медичних обмежень.

Ключові слова: синдром Вольфа–Паркінсона–Вайта, помилковий діагноз, епілепсія, аритмія, менінгіома, пухлина головного мозку, мультидисциплінарний підхід, соціальна стійкість, творчість, клінічний випадок, медико-соціальна експертиза.

Вступ

Діагностика раптової втрати свідомості у дітей і дорослих залишається однією з найскладніших проблем сучасної медицини. За українськими клінічними спостереженнями, до 20–30% епізодів, які спочатку класифікуються як епілептичні напади, насправді мають кардіогенне, нейрогенне або інше неепілептичне походження. Помилки на первинному етапі діагностики становлять значну небезпеку для пацієнтів, зокрема призводять до обмеження прав, стигматизації та необґрунтованої психіатричної класифікації.

Синдром Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW) належить до найпоширеніших вроджених порушень серцевої провідності. Він характеризується наявністю додаткового провідного шляху (пучка Кента), який спричиняє передчасну активацію шлуночків і розвиток пароксизмальних тахіаритмій, зокрема атріовентрикулярної ре-ентрі тахікардії (AVRT) [5]. Поширеність WPW у загальній популяції оцінюється на рівні 1,5–2 випадків на 1000 осіб. У підлітків і молодих дорослих синдром часто помилково трактують як епілепсію, що створює додаткові діагностичні труднощі.

В українській клінічній практиці зафіксовано численні випадки помилкової діагностики епілепсії у пацієнтів із синдромом WPW, що підкреслює важливість міждисциплінарного підходу. Наявність аритмій і епізодів раптової втрати свідомості вимагає чітко визначеного діагностичного алгоритму, який має включати електрокардіографію, 24-годинний холтерівський моніторинг і, за показаннями, електрофізіологічні дослідження. Згідно з чинними клінічними протоколами Міністерства охорони здоров'я України, навіть мінімальний моніторинг (ЕКГ, пульсоксиметрія та контроль артеріального тиску) у перед- і післяопераційний періоди є критично важливим для своєчасного виявлення аритмій і запобігання гіпоксії [6].

Особливі діагностичні труднощі виникають у випадках із раннім медичним анамнезом. Наприклад, під час дитячої апендектомії може спостерігатися тимчасова зупинка кровообігу (клінічна смерть) і період церебральної гіпоксії, що потенційно впливає на розвиток подальших неврологічних змін. Водночас жодні клінічні дані не дозволяють робити узагальнені висновки про причинно-наслідковий зв'язок між WPW, апендектомією та пухлинами головного мозку.

Системні проблеми доступу до медичної допомоги часто ускладнюють своєчасне реагування на аритмічні епізоди. Задokumentовані випадки, коли вечірні чи нічні звернення пацієнтів залишалися без належного реагування, свідчать про недостатню інтеграцію медичних служб і потребу у формуванні мультидисциплінарних команд, до складу яких мають входити кардіологи, неврологи, реаніматологи та фахівці з медико-соціальної експертизи.

Соціокультурний вимір також має важливе значення. Пацієнти з тяжкими хронічними захворюваннями часто стикаються із соціальною ізоляцією та психологічним виснаженням. Збереження творчої активності може виступати компенсаторним механізмом і чинником стійкості. У наведеному випадку, попри серйозні медичні обмеження, пацієнтка створила значний обсяг поетичних творів, включених до інтерактивної багатомовної збірки «Перші акорди» із серії «Світло в душі». Це демонструє, що художня діяльність підтримує психологічну рівновагу, сприяє соціальній адаптації та формуванню позитивної ідентичності, особливо в умовах тривалого лікування та невизначеного прогнозу.

Окрім клінічної значущості, цей випадок має освітню цінність, адже демонструє, як мультидисциплінарна команда може мінімізувати ризики помилкової діагностики та своєчасно реагувати на складні аритмічні події.

Таким чином, аналіз цього клінічного випадку має подвійне значення:

- по-перше, він висвітлює проблему діагностичних помилок і необхідність мультидисциплінарного підходу в українській медичній практиці;
- по-друге, демонструє роль творчої активності як ресурсу психологічної та соціальної стійкості.

Метою статті є міждисциплінарний аналіз клінічного випадку, виявлення причин помилкової діагностики, оцінка соціально-правових наслідків і демонстрація значення творчої діяльності як чинника стійкості.

Мета дослідження

Метою цього дослідження є всебічний аналіз клінічного випадку, що стосується рідкісної кардіальної патології, для якої характерним є тривалий період помилкових діагнозів та неправильного трактування симптомів. Особливу увагу приділено не лише медичним аспектам, а й соціально-психологічним наслідкам, зокрема стигматизації та формуванню упередженого ставлення до пацієнтки в сімейному, освітньому та професійному середовищі.

Дослідження має на меті продемонструвати, як багаторівневий міждисциплінарний підхід — що поєднує клінічну діагностику, соціогуманітарний аналіз і творчу рефлексію — сприяє глибшому розумінню клінічного випадку та формуванню нових моделей реагування у медичній

практиці. Особливий акцент зроблено на значенні ранньої та точної діагностики для запобігання вторинним психосоціальним ускладненням, а також на необхідності інтеграції медичних знань із культурними та соціальними підходами до здоров'я.

Матеріали та методи

Пацієнтка перебувала під медичним наглядом і лікуванням у період із 1991 по 2025 рік. Дослідження проведено на основі ретроспективного аналізу медичної документації, результатів діагностичних обстежень, висновків мультидисциплінарних консилиумів і даних післяопераційного спостереження.

1. Умови проведення дослідження

Спостереження за пацієнткою здійснювалося в низці спеціалізованих медичних установ:

- Дитячий та підлітковий інститут ім. Н. К. Крупської (1991 р.; нині — Харківський обласний клінічний педіатричний центр медичної реабілітації) — первинна діагностика синдрому Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW);
- Національний інститут терапії ім. Л. Т. Малої (1996, 2025 рр.) — підтвердження діагнозу WPW та повторна оцінка стану;
- Харківська обласна психіатрична лікарня № 1 (2002–2005 рр.) — помилкове трактування симптомів із встановленням діагнозу «епілепсія»;
- Комунальне некомерційне підприємство Харківської обласної ради «Обласна клінічна лікарня» (2025 р.) — амбулаторне та стаціонарне спостереження, нейрохірургічне лікування;
- Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В. Т. Заїцева (2025 р.) — мультидисциплінарний консилиум, планування радіочастотної абляції (РЧА);
- Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва (2025 р.) — додаткове обстеження та лікування новоутворень головного мозку;
- Комунальне некомерційне підприємство «Лозівське територіальне медичне об'єднання» (2025 р.) — надання екстреної допомоги під час епізодів суправентрикулярної аритмії.

2. Методи обстеження

Для комплексної оцінки стану пацієнтки застосовувалися такі методи:

- **Кардіологічні методи:** електрокардіографія у спокої та під навантаженням, 24-годинне холтерівське моніторування, ехокардіографія, оцінка фракції викиду лівого шлуночка, визначення стадії серцевої недостатності за класифікацією АСС/АНА;

- **Неврологічні та нейрохірургічні методи:** магнітно-резонансна томографія (МРТ), комп'ютерна томографія (КТ), когнітивні тести, неврологічне обстеження, післяопераційний функціональний моніторинг;
- **Функціональні дослідження:** моніторинг артеріального тиску, пульсоксиметрія, аналіз динаміки ЕКГ, дихальні проби для оцінки вентиляційних порушень;
- **Мультидисциплінарні консультації:** залучення кардіохірургів, нейрохірургів, неврологів, аритмологів і спеціалістів із функціональної діагностики;
- **Соціально-правовий аналіз:** вивчення історії проходження МСЕК (медико-соціальної експертної комісії), оцінка впливу помилкового діагнозу на професійні та соціальні права, аналіз культурної й соціальної активності як чинника психологічної стійкості.

3. Хронологія спостереження

- **1991:** первинне виявлення синдрому WPW у Дитячому та підлітковому інституті ім. Н. К. Крупської;
- **1996:** підтвердження діагнозу WPW в Інституті терапії ім. Л. Т. Малої;
- **2002–2005:** помилкове трактування симптомів і встановлення діагнозу «епілепсія» у психіатричній лікарні;
- **2025:** комплексне переобстеження, когнітивна оцінка, моніторинг синкопальних станів і післяопераційних розладів; проведення кістково-пластичної трепанації черепа з мікрохірургічним видаленням анапластичної менінгіоми; здійснення післяопераційного моніторингу та реабілітації; планування проведення РЧА.

4. Принципи аналізу

Дослідження поєднувало ретроспективний і проспективний підходи, інтегруючи клінічні, соціально-правові та психологічні дані. Особливу увагу було приділено мінімальному моніторингу (ЕКГ, пульсоксиметрія, контроль артеріального тиску) у перед- та післяопераційні періоди для своєчасного виявлення аритмій і запобігання гіпоксії [7].

Для кількісної оцінки функції серця у наведеному клінічному випадку було розраховано фракцію викиду лівого шлуночка (ФВ, EF) за методом Сімпсона, який забезпечує надійну оцінку систолічної функції та широко застосовується як у клінічній практиці, так і в наукових дослідженнях. Такий підхід дозволив оцінити динамічні зміни функції шлуночка з часом, підвищуючи точність діагностики та планування терапії.

Ця формула дає змогу клініцистам і дослідникам кількісно визначати ефективність серцевого викиду. Значення ФВ нижче 50 % зазвичай свідчать про систолічну дисфункцію, тоді як збережена фракція викиду, як у цього

пацієнта, відповідає серцевій недостатності із збереженою фракцією викиду (HFrEF), що має специфічні клінічні та терапевтичні наслідки.

Математична оцінка сприяла моніторингу серцевої функції до і після нейрохірургічного втручання, а також під час епізодів пароксизмальної тахікардії, пов'язаної із синдромом Вольфа–Паркінсона–Вайта (Формулу 1).

Формула 1. Розрахунок фракції викиду (EF)

$$EF(\%) = \frac{EDV - ESV}{EDV} \times 100 \quad (1)$$

Де:

- EDV — кінцево-діастолічний об'єм лівого шлуночка (мл),
- ESV — кінцево-систолічний об'єм лівого шлуночка (мл).

Джерело: (Burns & Freedman, 2023 [8]).

Аналіз було доповнено математичною оцінкою динаміки кардіологічних показників, що дало змогу простежити клінічну еволюцію та обґрунтувати діагностичні й терапевтичні рішення (табл. 1).

1. Спостереження за кардіологічними параметрами

Рік спостереження	ЧСС (уд/хв)	АТ (мм рт. ст.)	ЕКГ	Примітки
1991	110	110/70	Феномен WPW	Інститут педіатрії та підліткової медицини ім. Крупської
1996	112	115/72	WPW підтверджено	Національний інститут терапії ім. Л. Т. Малої
2005	120	118/75	Синусова тахікардія	Помилковий діагноз «епілепсія»
2025 (до операції)	115	120/78	Феномен WPW, пароксизмальна тахікардія	Комунальне некомерційне підприємство «Обласна клінічна лікарня», Харківська обласна рада
2025 (після операції)	115	115/70	Синусова тахікардія, WPW	Після нейрохірургічного втручання; моніторинг WPW; катетерна радіочастотна абляція (РЧА) серця

Джерела: авторська розробка

Безперервний моніторинг частоти серцевих скорочень, артеріального тиску та електрокардіографічних (ЕКГ) показників дозволив оцінити як довготривалі тенденції, так і гострі епізоди, пов'язані із синдромом Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW) та супутніми аритміями. Інтеграція історичних і сучасних даних також забезпечила контекст для інтерпретації впливу нейрохірургічного втручання та подальших кардіологічних процедур, зокрема катетерної радіочастотної абляції (РЧА).

5. Об'єктивні та суб'єктивні дані під час госпіталізації

5.1. Суб'єктивні скарги та клінічні прояви

- Пацієнтка повідомляла про повторювані епізоди аритмічної задишки, які виникали у різний час доби — ввечері, вночі, вранці та вдень. Було зафіксовано нерівномірну реакцію медичного персоналу: у робочі дні допомога надавалася оперативно, тоді як у вечірній, нічний та вихідні години доступ до кваліфікованого нагляду був обмежений.
- За таких умов пацієнтка отримувала постійну соціально-психологічну та фізіологічну підтримку від свого чоловіка, який перебував біля неї цілодобово. Ця підтримка мала додаткове клінічне значення, оскільки знижувала ризик ускладнень під час тяжких аритмічних епізодів і сприяла стабілізації стану до моменту надання професійної медичної допомоги.
- При зверненні до персоналу часто лунала фраза «це не наша спеціалізація», що підкреслює клінічну необхідність додаткового моніторингу та важливість міждисциплінарного підходу.

5.2. Матеріальне забезпечення та обладнання

- Для підвищення якості медичної допомоги фонд передав Нейрохірургічному відділенню Харківської обласної клінічної лікарні (КНП ХОР «ОКЛ») інвалідні візки та пульсоксиметр для моніторингу фізіологічних показників пацієнтів. У перші дні використання їхня ефективність була обмеженою через організаційні особливості роботи відділення та недоліки у внутрішніх процедурах.
- Для Терапевтичного відділення Лозівського територіального медичного об'єднання (Комунальне некомерційне підприємство «Лозівське територіальне медичне об'єднання») фонд надав катетери та інші медичні матеріали, що покращило надання невідкладної допомоги та забезпечило оперативне реагування у випадках тяжких аритмій.

5.3. Об'єктивні спостереження під час госпіталізації

- Після операції пацієнтку не було переведено до відділення інтенсивної терапії (ВІТ) Нейрохірургічного відділення Харківської обласної клінічної лікарні через проведення ремонтних робіт. Тимчасово пацієнтів ВІТ розміщували у коридорах; тому пацієнтку було розміщено у загальній палаті до моменту виписки.
- Перебування у загальній палаті ускладнювалося шумом від ремонтних робіт, а також звуковими ефектами з інших приміщень лікарні (включно з вибухами або ударами), що спричиняло додатковий психофізіологічний стрес і негативно впливало на стан пацієнтки.

- Під час госпіталізації неодноразово фіксувалися випадки транспортування тіл померлих пацієнтів через коридори нейрохірургічного відділення, що свідчить про реальні ризики для життя і безпеки пацієнтів.
- Було відзначено відсутність повної документації щодо епізодів сильної задишки та втрати свідомості, а також неповні імуногістохімічні дані, що ускладнювало всебічну оцінку стану пацієнтки та післяопераційний моніторинг.
- Незважаючи на зазначені обмеження, персонал відзначав періоди відносної стабілізації артеріального тиску та частоти серцевих скорочень завдяки підтримувальним заходам і постійній турботі з боку сім'ї.

5.4. Подальше лікування та організаційні аспекти

Подальше ведення пацієнтки потребує комплексного підходу, який охоплює медичні, організаційні та соціально-психологічні компоненти:

- **Кардіологічний блок:** радіочастотна абляція (РЧА), цілодобовий холтерівський моніторинг, контроль фракції викиду лівого шлуночка, оцінка стадії серцевої недостатності, корекція медикаментозної терапії;
- **Нейрохірургічний та онкологічний блок:** післяопераційний моніторинг, проведення МРТ/КТ для виявлення можливих рецидивів, консультації нейрохірургів та онкологів для корекції подальшої стратегії лікування;
- **Організаційна координація:** забезпечення взаємодії між Комунальним некомерційним підприємством Харківської обласної ради «Обласна клінічна лікарня», Національним інститутом терапії ім. Л. Т. Малої, Лозівським територіальним медичним об'єднанням, Інститутом ім. Зайцева та Інститутом ім. Григор'єва, включно з цілодобовим доступом до медичної допомоги та моніторингом ресурсів;
- **Соціально-правова підтримка:** оцінка рівня інвалідності, встановлення відповідного статусу, надання психологічної допомоги, інтеграція творчої діяльності як чинника психологічної стійкості;
- **Реабілітаційні заходи:** контроль фізичної активності, когнітивна реабілітація, підтримка творчих ініціатив для покращення якості життя, санаторно-курортне лікування та програми відновлення.

Результати

Пацієнтка, 1975 року народження, почала відчувати перші епізоди раптової втрати свідомості з судомами у дитячому віці. Їй було рекомендовано обмежити фізичну активність та уникати навантажень середньої інтенсивності. Амбулаторні записи, що датуються 1990 роком, свідчать про

наявність хронічних порушень стану здоров'я, включно з нападами болю в ділянці серця та загальним нездужанням.

У 1991 році пацієнтці вперше встановлено діагноз синдрому Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW), який підтверджено у 1994 році. Електрокардіографічне дослідження (ЕКГ) виявило наявність дельта-хвиль і вкорочення інтервалу PQ, що вказувало на додатковий атріовентрикулярний шлях (пучок Кента) та схильність до антідромної атріовентрикулярної реципрокної тахікардії (AVRT).

У період між 2002 і 2005 роками через недостатню кардіологічну діагностику пацієнтку було помилково госпіталізовано до психіатричного закладу з діагнозом «епілепсія», де призначали медикаменти, потенційно небезпечні при наявності синдрому WPW.

Протягом усього періоду спостереження відзначалася схильність до синкопальних станів і аритмій, що підтверджено результатами довготривалого ЕКГ-моніторингу та щоденного холтерівського спостереження.

Кардіологічні дані:

- ***Частота кардіологічних епізодів:*** до 20–25 нападів раптової втрати свідомості на рік у дитячому віці, з поступовим зниженням частоти у підлітковому віці під контролем фармакотерапії (β-блокатори, аденозинтрифосфат).
- ***Тип аритмій:*** синдром WPW, пароксизмальна AVRT, періодична синусова тахікардія.
- ***Фракція викиду лівого шлуночка (ФВЛШ):*** у 2025 році перед операцією — 58%; після нейрохірургічного втручання — 56%, із збереженою систолічною функцією лівого шлуночка за даними ехокардіографії.

Кардіологічний статус пацієнтки свідчить про стійкий синдром WPW із періодичними епізодами пароксизмальної тахікардії, що потребує постійного моніторингу та розгляду можливості проведення катетерної абляції.

Неврологічні та нейрохірургічні дані:

- ***MPT та КТ головного мозку:*** у 2025 році виявлено об'ємне утворення правої лобної частки з ознаками анаплазії.
- ***Післяопераційний стан:*** проведено краніопластику та мікрохірургічне видалення позамозкового утворення; зафіксовано стабілізацію неврологічних функцій у післяопераційний період.
- ***Когнітивна оцінка:*** результати досліджень до і після операції показали мінімальні зміни збереження уваги та пам'яті, що свідчить про незначний післяопераційний дефіцит.

- Вплив ранніх епізодів транзиторної гіпоксії під час дитячих операцій:

ці епізоди могли чинити довготривалий вплив на нейророзвиток і потребують подальшого вивчення у проспективних дослідженнях.

Нейрохірургічне втручання дало змогу видалити пухлинне утворення, стабілізувати неврологічний статус і зберегти когнітивні функції, що має вирішальне значення для планування подальшого кардіологічного лікування.

Функціональні та соціально-психологічні дані:

- **Моніторинг життєвих показників:** під час госпіталізації відзначалися епізоди аритмічної задишки, переважно у вечірній та нічний час. У робочі дні медичний персонал реагував оперативно, тоді як уночі та вихідні спостерігалися затримки у наданні допомоги в нейрохірургічному відділенні Харківської обласної клінічної лікарні.
- **Підтримка:** з метою зниження ризиків у періоди обмеженого медичного нагляду пацієнтка отримувала постійну соціальну та психологічну підтримку від членів родини.
- **Соціально-психологічна активність:** пацієнтка продовжує займатися творчістю — зокрема поезією, що публікується разом із перекладами у багатомовних інтерактивних збірках серії «Світло душі». Така діяльність позитивно впливає на психологічну стійкість і сприяє соціальній адаптації, підкреслюючи значення культурної активності в комплексному підході до лікування.

Творчість виступає компенсаторним механізмом психологічної стійкості; водночас обмежений доступ до медичних ресурсів у нічний час підкреслює необхідність функціонування мультидисциплінарних команд.

Стратегія подальшого ведення:

1. **Кардіологічне спостереження:** планування проведення радіочастотної абляції (РЧА) для усунення епізодів пароксизмальної тахікардії.
2. **Нейрохірургічне та неврологічне спостереження:** післяопераційний моніторинг із когнітивною та моторною оцінкою, подальше амбулаторне спостереження за динамікою відновлення.
3. **Терапевтичне забезпечення:** гарантування цілодобової доступності невідкладної допомоги.
4. **Державні спеціалізовані установи:** участь у мультидисциплінарних консилиумах, проведення додаткових досліджень і післяопераційний контроль.
5. **Соціально-психологічна підтримка:** збереження творчої активності та інтеграція пацієнтки у соціальні й культурні проєкти.

6. Моніторинг обладнання та персоналу: забезпечення повноцінного використання пульсоксиметрів, інвалідних візків і систем контролю артеріального тиску у нічний та вихідний час.

Комплексний підхід, що поєднує кардіологічне, нейрохірургічне та соціально-психологічне ведення, мінімізує ризик повторних синкопальних епізодів і створює умови для відновлення соціальної активності пацієнтки.

Обговорення

Загальна характеристика синдрому WPW

Синдром Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW) є однією з найпоширеніших порушень провідності серця, здатною викликати тяжкі порушення серцевого ритму, включно з пароксизмальною тахікардією, фібриляцією передсердь та навіть зупинкою серця [9]. У клінічному випадку пацієнтки Маріанни Світозар поєднання кардіологічних і неврологічних симптомів ускладнило точну діагностику та призвело до помилкового встановлення діагнозу «епілепсія». Доведено, що аритмії при WPW можуть імітувати епілептичні напади через церебральну гіпоксію, спричинену порушенням серцевого ритму, що підтверджено клінічними дослідженнями [10].

Поєднання кардіологічних та неврологічних проявів

Цей клінічний випадок ілюструє складнощі, які виникають через одночасну наявність рідкісного серцевого захворювання, діагностичних помилок та недостатньої інтеграції медичних послуг. Синдром WPW — це вроджене порушення провідності серця, що характеризується наявністю додаткового атріовентрикулярного шляху (пучок Кента), що призводить до передчасного збудження шлуночків і розвитку пароксизмальних тахікардій.

У цієї пацієнтки поєднання WPW з епізодами транзиторної зупинки серця під час апендектомії в підлітковому віці підвищувало ризик церебральної гіпоксії та неврологічних проявів [11].

Епілептиформні симптоми, ймовірно, були вторинними і пов'язані з гіпоксією після клінічної смерті, спричиненої зупинкою серця під час операції. Відсутність повної документації ускладнює остаточне підтвердження причини ураження мозку, але наявні кардіологічні дані підтримують цю гіпотезу. Синдром WPW часто провокується або погіршується після операцій або стресових станів [12], що підкреслює важливість ретельного кардіологічного моніторингу, особливо у періопераційний період.

Ранні прояви та діагностичні помилки

Аналіз медичної історії пацієнтки показав, що перші епізоди раптової втрати свідомості з судомами виникли у дитячому віці. Відсутність повної медичної документації ускладнює точну реконструкцію подій, але наявні амбулаторні записи свідчать про хронічні проблеми зі здоров'ям, включно з

кардіологічними симптомами, що проявилися до 15 років. Подальше погіршення стану після апендектомії та можливе порушення кровообігу під час анестезії свідчать про ймовірну транзиторну церебральну ішемію, що могла стимулювати розвиток постгіпоксичних епілептиформних проявів та ускладнити клінічну картину.

Між 2002 і 2005 роками пацієнтка була неправильно діагностована як «епілепсія» у психіатричному закладі. Ця помилка мала серйозні клінічні та соціальні наслідки: їй призначали карбамазепін, препарат, що може погіршити перебіг WPW, провокуючи аритмії [13]. Також обмежувався доступ до фізичної активності та помірної праці. Такі випадки підкреслюють критичну важливість інтеграції кардіологічної, неврологічної та психіатричної оцінки при синкопальних станах у дітей та підлітків [14].

Сучасний клінічний перебіг

Клінічний перебіг у 2025 році демонструє необхідність мультидисциплінарного підходу. Тривалі епізоди пароксизмальної тахікардії з частотою серцевих скорочень до 250 уд/хв потребували одночасного залучення кардіологів, аритмологів та нейрохірургів. Кістково-пластична краніотомія з мікрохірургічним видаленням анапластичної менінгіоми дозволила контролювати нейрохірургічний компонент, а подальше планування радіочастотної абляції серця забезпечило безпеку кардіологічного профілю [15].

Матеріали спостережень показують, що мінімальний моніторинг (ЕКГ, пульсоксиметрія, контроль АТ) у перед- та післяопераційні періоди критично важливий для своєчасного виявлення аритмій та запобігання церебральній гіпоксії. Системні проблеми, такі як обмежений доступ до фахівців у вечірні години та сегментована відповідальність персоналу, підкреслюють необхідність мультидисциплінарних команд для комплексного ведення пацієнтів із складними кардіоневрологічними станами [16].

Клінічні стандарти та діагностика

Клінічні рекомендації МОЗ України підкреслюють обов'язкове проведення електрокардіографії у пацієнтів із синкопальними станами та аритміями. У цьому випадку комплексна оцінка за допомогою холтер-моніторингу, ехокардіографії та відео-ЕЕГ дозволила диференціювати кардіологічні та неврологічні прояви. Додаткові термічні тести виявили автономну нестабільність, ускладнивши клінічну картину та свідчаючи про дисрегуляцію вегетативної нервової системи.

У 30% випадків WPW може імітувати епілепсію; тому ЕКГ, холтер-моніторинг та ехокардіографія мають стати стандартною практикою для діагностики синкопальних і судомних епізодів. Такий підхід дозволяє

уникнути непотрібного призначення протисудомних препаратів, що можуть погіршити перебіг кардіологічного захворювання.

Соціокультурний вимір

Незважаючи на обмеження стану здоров'я, пацієнтка зберігає творчу активність, створюючи значний масив поезії, який включено до багатомовних інтерактивних збірок серії «Світло душі». Це підкреслює роль творчості як компенсаторного механізму психологічної стійкості та соціальної адаптації, особливо під час тривалого лікування та невизначеного прогнозу [17].

Правовий та етичний аспект

Через обмежену документацію щодо хірургічних втручань та епізодів зупинки серця доцільна незалежна експертна оцінка для підтвердження причин гіпоксичного ураження мозку та перегляду класифікації інвалідності. Видалення пухлини разом із частими кардіогенними непритомностями може обґрунтувати перекласифікацію інвалідності з психіатричної на нейрокардіологічну та потребує мультидисциплінарного підходу для об'єктивної оцінки стану пацієнтки.

Висновки

Аналіз клінічного випадку пацієнтки з коморбідним перебігом WPW-синдрому та постгіпоксичної енцефалопатії підкреслює кілька ключових аспектів практичного та наукового значення:

1. Медичний аспект

- Рання та точна діагностика WPW критично важлива для профілактики аритмій і тяжких ускладнень.
- Безперервний кардіологічний моніторинг (ЕКГ, 24-годинний холтер, ехокардіографія) у дітей і підлітків із синкопальними станами дозволяє своєчасно диференціювати кардіологічні та неврологічні прояви і уникати призначення протисудомних препаратів, що погіршують перебіг WPW.
- Пацієнти з коморбідною неврологічною патологією потребують інтегрованого моніторингу для запобігання транзиторній церебральній гіпоксії під час аритмічних епізодів або періопераційних станів.

2. Організаційний аспект

- Ведення таких пацієнтів потребує створення мультидисциплінарних команд, що включають кардіологів, аритмологів, неврологів, нейрохірургів та психіатрів.
- Розширення доступу до медичної допомоги у вечірні, нічні та вихідні години є критично важливим для зменшення ризику ускладнень.

- Впровадження стандартизованого моніторингу обладнання та персоналу (пульсоксиметри, контроль АТ) підвищує безпеку та ефективність надання допомоги.

3. Соціально-психологічний та культурний аспект

- Активна творча діяльність пацієнтки, включно з публікаціями у багатомовних інтерактивних збірках, слугує компенсаторним механізмом психологічної стійкості та підтримує соціальну адаптацію.
- Соціальна та культурна активність підвищує якість життя пацієнтів із тяжкими захворюваннями, допомагає зменшити психоемоційне напруження та сприяє кращим результатам відновлення.

4. Правовий та етичний аспект

- Помилкова діагностика та обмежений доступ до медичних ресурсів можуть призвести до неправомірного визначення інвалідності та стигматизації пацієнта.
- Незалежна експертна оцінка може підтвердити причини гіпоксичного ураження мозку та встановити об'єктивний ступінь інвалідності, що сприяє правильній перекласифікації з психіатричної на нейрокардіологічну.
- Часті епізоди кардіогенної синкопе можуть обґрунтувати формальний перегляд соціального та медичного статусу пацієнта в межах мультидисциплінарного оцінювання.

Загальна клінічна та практична значущість

- Цей клінічний випадок ілюструє складність ведення пацієнтів із коморбідним поєднанням синдрому WPW та постгіпоксичної енцефалопатії.
- Підкреслює необхідність широкого впровадження мультидисциплінарних протоколів для діагностики та лікування синкопальних та судомних розладів.
- Такий підхід мінімізує ризик діагностичних помилок, забезпечує своєчасну терапію та зменшує ймовірність серйозних ускладнень, що має практичне значення для кардіологів, неврологів і лікарів загальної практики.

Список літератури

1. Міністерство охорони здоров'я України. (2012, 3 серпня). Єдиний клінічний протокол «Порушення серцевого ритму у дорослих» (Наказ № 597). Міністерство охорони здоров'я України.
2. Гаврушенко, Л. В., & Михайловська, Н. С. (2015). Диференціальна діагностика епілептичних нападів та синкопальних епізодів у дітей. Український медичний журнал, 3(107), 68–72.

3. Костюк, О. Г., & Тодуров, Б. М. (2019). Соціально-правові наслідки помилкової діагностики в клінічній практиці: медико-соціальна експертиза. *Public Health*, 8(3), 50–56.
4. Дзяк, Г. В., & Яворська, О. О. (2017). Кардіогенні синкопальні стани: діагностичні труднощі та мультидисциплінарний підхід. *Cardiology. Heart and Vessels*, 1, 12–18.
5. Anderson, R. H., & Ho, S. Y. Wolff-Parkinson-White Syndrome: Pathophysiology and Clinical Aspects. *Heart*, 2019; 105: 123–130.
6. Міністерство охорони здоров'я України. Клінічні настанови з ведення пацієнтів із порушеннями серцевої провідності, Наказ № XXX, 2024.
7. Міністерство охорони здоров'я України. Наказ № 234 «Про моніторинг пацієнтів із ризиком аритмії», 2021.
8. Burns, K. V., & Freedman, R. (2023). Left ventricular ejection fraction. In *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
9. Bilous, P. O. Wolff-Parkinson-White syndrome: clinical manifestations and diagnostic challenges. *Ukrainian Journal of Cardiology*, 2019; 1: 23–29.
10. Cherenko, I. V. Diagnosis and treatment of arrhythmias in children: current state of the problem. *Cardiology and Internal Medicine*, 2020; 2(15): 45–52.
11. Biletsky, R. S. Hypoxic brain injury in children after cardiac arrest: clinical cases and prognostic aspects. *Medical Perspectives*, 2021; 26(4): 112–118.
12. Mironyuk, V. Yu. WPW syndrome: course, complications, and correction possibilities. *Cardiology of the 21st Century*, 2018; 4(7): 66–72.
13. Semeniuk, L. I. Medications for conduction arrhythmias: risks and clinical cautions. *Pharmacology and Medicine*, 2020; 5(12): 78–84.
14. Kozak, O. V. Syncope in children and adolescents: cardiological and neurological aspects. *Pediatric Medicine*, 2017; 1(3): 19–27.
15. Palamarchuk, A. M. Comprehensive diagnostics of syncopal states: Holter monitoring, EEG, and echocardiography. *Modern Neurology*, 2022; 10(2): 51–59.
16. Міністерство охорони здоров'я України. Єдиний клінічний протокол ведення аритмій у дітей, Наказ № 152 від 24.02.2014. Київ; 2014.
17. Гриневич, Т. О. Правові та соціальні аспекти визначення інвалідності при кардіоневрологічних захворюваннях. *Медичне право України*, 2023; 2(19): 33–41.

[EN_3]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Clinical Case of Meningioma in a WPW Patient

Abstract

Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome is a congenital cardiac conduction disorder caused by the presence of an accessory conduction pathway (Kent bundle), leading to premature ventricular excitation and the development of paroxysmal tachyarrhythmias. In most cases, these conditions are amenable to pharmacological therapy, including the use of adenosine triphosphate and β -blockers [1]. It is important to note that up to 20–30% of episodes initially classified as epileptic seizures may, in fact, have a cardiogenic or other non-epileptic origin [2]. Diagnostic errors at the initial stage can result in significant clinical and social consequences, including restriction of rights, stigmatization, and erroneous psychiatric labeling [3].

This article presents a clinical case of a female patient (born in 1975) with a long-standing medical history. In 2005, she was initially diagnosed with epilepsy; however, subsequent monitoring did not confirm the presence of generalized seizures. The primary manifestations included sudden episodes of loss of consciousness caused by arrhythmias associated with WPW syndrome, the presence of an anaplastic meningioma, and chronic heart failure. Diagnostic challenges were compounded by a history of transient circulatory arrest and cerebral hypoxia following an appendectomy in childhood, which likely contributed to subsequent neurological and tumor-like changes, making this case particularly valuable for multidisciplinary analysis.

From 22 July to 8 August 2025, the patient received treatment in the Department of Neurosurgery at the Kharkiv Regional Clinical Hospital (Head — Yu. O. Babalyan). On 29 July 2025, under the supervision of neurosurgeon A. O. Pshenichny, a bone-plastic craniotomy with microsurgical resection of the anaplastic meningioma in the right frontal region was performed. Confirmed diagnoses included: space-occupying lesion of the right frontal lobe, syncopal states, WPW syndrome, paroxysmal tachycardia, and post-microsurgical tumor removal status.

In August 2025, a recurrence of severe tachyarrhythmia was observed (heart rate up to 250 beats per minute), requiring prolonged emergency care and hospitalization in the therapeutic department of the Lozova Territorial Medical Association. Treatment was conducted under the supervision of physician S. S. Slynko and medical staff. Confirmed diagnoses included WPW syndrome, paroxysmal tachycardia, chronic heart failure stage B (ACC/AHA classification) with preserved left ventricular ejection fraction, and post-microsurgical tumor removal status.

This clinical case underscores the necessity of a multidisciplinary approach involving cardiologists, neurologists, neurosurgeons, and medico-social experts to prevent misdiagnoses, ensure accurate determination of functional and social disability [4], and optimize therapeutic planning. The sociocultural dimension of the case is illustrated by the patient's continued creative activity: despite the absence of higher education, she is the author of numerous poetic works included in the multilingual interactive collection "The First Chords of Light in the Soul." This demonstrates that creative engagement may serve as a factor of psychological and social resilience even under conditions of severe medical limitations.

Keywords: Wolff–Parkinson–White syndrome, misdiagnosis, epilepsy, arrhythmia, meningioma, brain tumor, multidisciplinary approach, social resilience, creativity, clinical case, medico-social expertise.

Introduction

The diagnosis of sudden loss of consciousness in children and adults remains one of the most challenging problems in contemporary medicine. According to Ukrainian clinical observations, up to 20–30% of episodes initially classified as epileptic seizures actually have a cardiogenic, neurogenic, or other non-epileptic origin. Errors at the primary diagnostic stage pose significant risks to patients, including restrictions on rights, stigmatization, and unwarranted psychiatric classification.

Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome is among the most common congenital cardiac conduction disorders. It is characterized by the presence of an accessory conduction pathway (Kent bundle), which causes premature ventricular activation and the development of paroxysmal tachyarrhythmias, including atrioventricular reentrant tachycardia (AVRT) [5]. The prevalence of WPW in the general population is estimated at 1.5–2 cases per 1000 individuals. In adolescents and young adults, the syndrome is frequently misdiagnosed as epilepsy, creating additional diagnostic challenges.

In Ukrainian clinical practice, numerous cases of misdiagnosed epilepsy in patients with WPW syndrome have been documented, emphasizing the importance of an interdisciplinary approach. The presence of arrhythmias and episodes of sudden loss of consciousness necessitates a clearly defined diagnostic algorithm, which should include electrocardiography, 24-hour Holter monitoring, and, when indicated, electrophysiological studies. According to current clinical protocols of the Ministry of Health of Ukraine, even minimal monitoring (ECG, pulse oximetry, and blood pressure control) during the preoperative and postoperative periods is critically important for timely detection of arrhythmias and prevention of hypoxia [6].

Particular diagnostic difficulties arise in cases with early medical history. For example, during childhood appendectomy, transient circulatory arrest (clinical death) and a period of cerebral hypoxia may occur, potentially influencing the development of subsequent neurological changes. At the same time, no clinical data allow for generalized conclusions regarding a causal relationship between WPW syndrome, appendectomy, and brain tumors.

Systemic issues in access to medical care often complicate timely response to arrhythmic episodes. Documented cases where evening or nighttime patient visits received inadequate attention highlight insufficient integration of medical services and underscore the need to establish multidisciplinary teams, including cardiologists, neurologists, intensivists, and medico-social expertise specialists.

The sociocultural dimension also holds significant importance. Patients with severe chronic conditions frequently encounter social isolation and psychological exhaustion. Maintaining creative activity may serve as a compensatory mechanism

and a resilience factor. In the present case, despite serious medical limitations, the patient produced a substantial body of poetic works included in the interactive multilingual collection “The First Chords” from the series “Light in the Soul.” This demonstrates that artistic activity supports psychological equilibrium, facilitates social adaptation, and promotes positive identity formation, particularly under prolonged treatment and uncertain prognosis.

Beyond its clinical relevance, this case possesses educational value, illustrating how a multidisciplinary team can minimize the risk of misdiagnosis and respond promptly to complex arrhythmic events.

Thus, the analysis of this clinical case has a dual significance:

- First, it highlights the problem of diagnostic errors and the necessity of a multidisciplinary approach in Ukrainian medical practice;
- Second, it demonstrates the role of creative activity as a resource for psychological and social resilience.

The aim of this article is to provide an interdisciplinary analysis of the clinical case, identify the causes of diagnostic errors, assess the social and legal consequences, and demonstrate the significance of creative activity as a resilience factor.

Research Aim

The aim of this study is to conduct a comprehensive analysis of a clinical case involving a rare cardiac pathology characterized by a prolonged period of misdiagnoses and misinterpretation of symptoms. Particular attention is devoted not only to the medical aspects but also to the social and psychological consequences, including stigmatization and the formation of biased attitudes toward the patient within family, educational, and professional environments.

The study seeks to demonstrate how a multi-level interdisciplinary approach—combining clinical diagnostics, socio-humanitarian analysis, and creative reflection—contributes to a deeper understanding of the clinical case and the development of new response models in medical practice. Special emphasis is placed on the importance of early and accurate diagnosis to prevent secondary psychosocial complications, as well as on the necessity of integrating medical knowledge with cultural and social approaches to health.

Materials and Methods

The patient was under medical supervision and treatment during the period from 1991 to 2025. The study was conducted based on a retrospective analysis of medical records, diagnostic examination results, conclusions of multidisciplinary consilia, and postoperative follow-up data.

1. Conditions of the study

Observation of the patient was carried out across a series of specialized medical institutions:

- N. K. Krupskaya Children's and Adolescent Institute (1991; currently — Kharkiv Regional Clinical Pediatric Center for Medical Rehabilitation) — primary diagnosis of Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome;
- L. T. Malaya National Institute of Therapy (1996, 2025) — confirmation of WPW diagnosis and re-evaluation of the patient's condition;
- Kharkiv Regional Psychiatric Hospital No. 1 (2002–2005) — misinterpretation of symptoms with the establishment of a diagnosis of “epilepsy”;
- Kharkiv Regional Clinical Hospital, a communal non-commercial enterprise of the Kharkiv Regional Council (2025) — outpatient and inpatient observation, neurosurgical treatment;
- V. T. Zaitsev Institute of General and Emergency Surgery (2025) — multidisciplinary consilium, planning of radiofrequency ablation (RFA);
- S. P. Grigoriev Institute of Medical Radiology and Oncology (2025) — additional examination and treatment of brain neoplasms;
- Lozova Territorial Medical Association, a communal non-commercial enterprise (2025) — provision of emergency care during episodes of supraventricular arrhythmia.

2. Examination Methods

For a comprehensive assessment of the patient's condition, the following methods were employed:

- **Cardiological methods:** resting and stress electrocardiography, 24-hour Holter monitoring, echocardiography, assessment of left ventricular ejection fraction, determination of heart failure stage according to the ACC/AHA classification;
- **Neurological and neurosurgical methods:** magnetic resonance imaging (MRI), computed tomography (CT), cognitive testing, neurological examination, postoperative functional monitoring;
- **Functional studies:** blood pressure monitoring, pulse oximetry, analysis of ECG dynamics, respiratory tests for assessment of ventilatory disorders;
- **Multidisciplinary consultations:** involvement of cardiac surgeons, neurosurgeons, neurologists, arrhythmologists, and functional diagnostics specialists;
- **Socio-legal analysis:** review of the patient's history with the Medical-Social Expert Commission (MSEC), assessment of the impact of misdiagnosis on professional and social rights, analysis of cultural and social activity as a factor of psychological resilience.

3. Chronology of Observation

- **1991**: primary detection of WPW syndrome at the N. K. Krupskaya Children's and Adolescent Institute;
- **1996**: confirmation of WPW diagnosis at the L. T. Malaya Institute of Therapy;
- **2002–2005**: misinterpretation of symptoms and establishment of a diagnosis of "epilepsy" at the psychiatric hospital;
- **2025**: comprehensive re-examination, cognitive assessment, monitoring of syncopal states and postoperative disorders; performance of a bone-plastic craniotomy with microsurgical removal of anaplastic meningioma; postoperative monitoring and rehabilitation; planning of radiofrequency ablation (RFA).

4. Principles of Analysis

The study combined retrospective and prospective approaches, integrating clinical, socio-legal, and psychological data. Particular attention was given to minimal monitoring (electrocardiography, pulse oximetry, and blood pressure control) during the preoperative and postoperative periods for the timely detection of arrhythmias and prevention of hypoxia [7].

For the quantitative assessment of cardiac function in this clinical case, the left ventricular ejection fraction (EF) was calculated using Simpson's method, which provides a reliable evaluation of systolic function and is widely used in both clinical practice and research. This approach allowed for the assessment of dynamic changes in ventricular function over time, thereby enhancing the accuracy of diagnosis and therapeutic planning.

This formula enables clinicians and researchers to quantitatively determine the efficiency of cardiac output. EF values below 50% generally indicate systolic dysfunction, whereas a preserved ejection fraction, as observed in this patient, corresponds to heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF), which carries specific clinical and therapeutic implications.

Mathematical assessment facilitated the monitoring of cardiac function before and after neurosurgical intervention, as well as during episodes of paroxysmal tachycardia associated with Wolff–Parkinson–White syndrome (see Formula 1).

Formula 1. Calculation of Ejection Fraction (EF)

$$EF(\%) = \frac{EDV - ESV}{EDV} \times 100 \quad (1)$$

Where:

- EDV — left ventricular end-diastolic volume (mL),
- ESV — left ventricular end-systolic volume (mL).

Source: [8].

The analysis was supplemented by mathematical evaluation of cardiological parameter dynamics, which allowed tracing the clinical evolution and justifying diagnostic and therapeutic decisions (Table 1).

1. Observation of Cardiological Parameters

Year of Observation	HR (bpm)	BP (mmHg)	ECG	Notes
1991	110	110/70	WPW phenomenon	N. K. Krupskaya Children's and Adolescent Institute
1996	112	115/72	WPW confirmed	L. T. Malaya National Institute of Therapy
2005	120	118/75	Sinus tachycardia	Misdiagnosis of "epilepsy"
2025 (preoperative)	115	120/78	WPW phenomenon, paroxysmal tachycardia	Kharkiv Regional Clinical Hospital, Kharkiv Regional Council
2025 (postoperative)	115	115/70	Sinus tachycardia, WPW	Post-neurosurgical monitoring; WPW follow-up; cardiac radiofrequency catheter ablation (RFA)

Sources: Author's development

Continuous monitoring of heart rate, blood pressure, and electrocardiographic (ECG) parameters allowed assessment of both long-term trends and acute episodes associated with Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome and concomitant arrhythmias. The integration of historical and contemporary data also provided context for interpreting the impact of neurosurgical intervention and subsequent cardiological procedures, including catheter-based radiofrequency ablation (RFA).

5. Objective and Subjective Data During Hospitalization

5.1. Subjective Complaints and Clinical Manifestations

- The patient reported recurrent episodes of arrhythmic dyspnea occurring at various times of the day — in the evening, at night, in the morning, and during the day. Uneven responsiveness of the medical staff was documented: during working hours, assistance was provided promptly, whereas access to qualified supervision was limited during evenings, nights, and weekends.
- Under these circumstances, the patient received continuous socio-psychological and physiological support from her spouse, who remained at her side around the clock. This support had additional clinical significance, as it reduced the risk of complications during severe arrhythmic episodes and contributed to stabilization of her condition until professional medical assistance was provided.
- When contacting staff, the phrase "this is not our specialty" was frequently noted, highlighting the clinical necessity of additional monitoring and the importance of an interdisciplinary approach.

5.2. *Material Provision and Equipment*

- To enhance the quality of medical care, the fund provided the Neurosurgery Department of the Kharkiv Regional Clinical Hospital with wheelchairs and a pulse oximeter for monitoring patients' physiological parameters. During the initial days of use, their effectiveness was limited due to organizational characteristics of the department and deficiencies in internal procedures.
- For the Therapeutic Department of the Lozova Territorial Medical Association (KNP "Lozova Territorial Medical Association"), the fund supplied catheters and other medical materials, which improved the provision of emergency care and ensured prompt response to severe arrhythmic episodes.

5.3. *Objective Observations During Hospitalization*

- Following surgery, the patient was not transferred to the Intensive Care Unit (ICU) of the Neurosurgery Department at the Kharkiv Regional Clinical Hospital due to ongoing repair works. ICU patients were temporarily accommodated in corridors; therefore, the patient was placed in a general ward until discharge.
- Stay in the general ward was complicated by noise from repair works, as well as auditory disturbances from other hospital areas (including explosions or impacts), causing additional psychophysiological stress and negatively affecting the patient's condition.
- Multiple instances of transporting deceased patients' bodies through the neurosurgery department corridors were documented, indicating real risks to patient safety and life.
- A lack of comprehensive documentation regarding episodes of severe dyspnea and loss of consciousness, as well as incomplete immunohistochemical data, complicated a thorough assessment of the patient's condition and postoperative monitoring.
- Despite these limitations, staff noted periods of relative stabilization of blood pressure and heart rate due to supportive measures and continuous family care.

5.4. *Further Treatment and Organizational Aspects*

Further management of the patient requires a comprehensive approach encompassing medical, organizational, and socio-psychological components:

- **Cardiology block:** radiofrequency ablation (RFA), continuous Holter monitoring, control of left ventricular ejection fraction, assessment of heart failure stage, and adjustment of pharmacological therapy;
- **Neurosurgical and oncological block:** postoperative monitoring, MRI/CT imaging for detection of potential recurrences, consultations with neurosurgeons and oncologists to adjust subsequent treatment strategy;

- **Organizational coordination:** ensuring collaboration between KNP Kharkiv Regional Clinical Hospital, L. T. Malaya National Institute of Therapy, Lozova Territorial Medical Association, Zaicev Institute, and Grigoriev Institute, including 24-hour access to medical care and monitoring of resources;
- **Socio-legal support:** assessment of disability level, determination of appropriate status, provision of psychological assistance, integration of creative activities as a factor for psychological resilience;
- **Rehabilitation measures:** monitoring of physical activity, cognitive rehabilitation, support for creative initiatives to improve quality of life, resort-based treatment, and recovery programs.

Results

The patient, born in 1975, began experiencing the first episodes of sudden loss of consciousness accompanied by convulsions during childhood. She was advised to limit physical activity and avoid exertion of moderate intensity. Outpatient medical records dating back to 1990 indicate the presence of chronic health disturbances, including recurrent chest pain and general malaise.

In 1991, the patient was first diagnosed with Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome, which was reconfirmed in 1994. Electrocardiographic (ECG) examination revealed the presence of delta waves and shortening of the PQ interval, indicating the existence of an additional atrioventricular conduction pathway (Kent bundle) and a predisposition to antidromic atrioventricular reentrant tachycardia (AVRT).

Between 2002 and 2005, due to insufficient cardiological diagnostics, the patient was mistakenly hospitalized in a psychiatric facility with a diagnosis of “epilepsy”, where she was prescribed medications potentially hazardous in the presence of WPW syndrome.

Throughout the entire observation period, the patient exhibited a persistent tendency toward syncopal conditions and cardiac arrhythmias, confirmed by the results of long-term ECG monitoring and continuous Holter observation.

Cardiological Data:

- **Frequency of Cardiac Episodes:** Up to 20–25 episodes of sudden loss of consciousness per year during childhood, with a gradual decrease in frequency during adolescence under pharmacological control (β -blockers, adenosine triphosphate).
- **Type of Arrhythmia:** Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome, paroxysmal atrioventricular reentrant tachycardia (AVRT), and periodic sinus tachycardia.

- **Left Ventricular Ejection Fraction (LVEF):** In 2025, prior to surgery — 58%; after neurosurgical intervention — 56%, with preserved systolic function of the left ventricle according to echocardiographic data.

The patient's cardiological status indicates a persistent WPW syndrome with recurrent episodes of paroxysmal tachycardia, necessitating continuous monitoring and consideration of catheter ablation as a definitive therapeutic measure.

Neurological and Neurosurgical Data:

- **MRI and CT Findings:** In 2025, an intracranial mass in the right frontal lobe with signs of anaplasia was detected.
- **Postoperative Condition:** The patient underwent cranioplasty and microsurgical removal of an extracerebral tumor, resulting in stabilization of neurological functions during the postoperative period.
- **Cognitive Assessment:** Pre- and postoperative evaluations revealed minimal changes in attention and memory retention, indicating an insignificant postoperative cognitive deficit.
- **Impact of Early Episodes of Transient Hypoxia During Childhood Surgeries:** These episodes may have exerted long-term effects on neurodevelopment and warrant further investigation in prospective studies.

The neurosurgical intervention enabled complete removal of the tumor, stabilization of neurological status, and preservation of cognitive functions, which is of decisive importance for the planning of further cardiological management.

Functional and Socio-Psychological Data:

- **Monitoring of Vital Parameters:** During hospitalization, episodes of arrhythmic dyspnea were recorded, primarily in the evening and nighttime hours. Medical staff responded promptly during working hours; however, at night and on weekends, delays in assistance were observed in the neurosurgical department of the Kharkiv Regional Clinical Hospital.
- **Support:** To reduce risks during periods of limited medical supervision, the patient received continuous social and psychological support from family members.
- **Socio-Psychological Activity:** The patient continues to engage in creative work, particularly poetry, which is published with multilingual translations in the interactive series "The Light of the Soul." This activity positively influences psychological resilience and facilitates social adaptation, emphasizing the importance of cultural engagement within a comprehensive treatment strategy.

Creative expression functions as a compensatory mechanism for psychological resilience, whereas the limited availability of medical resources during nighttime

hours underscores the necessity of maintaining fully operational multidisciplinary teams.

Strategy for Further Management:

1. **Cardiological Follow-Up:** Planning and implementation of radiofrequency ablation (RFA) to eliminate episodes of paroxysmal tachycardia.
2. **Neurosurgical and Neurological Follow-Up:** Postoperative monitoring with cognitive and motor assessment, followed by outpatient observation of recovery dynamics.
3. **Therapeutic Provision:** Ensuring round-the-clock accessibility of emergency medical services.
4. **State Specialized Institutions:** Participation in multidisciplinary clinical consultations, conduction of additional diagnostic examinations, and implementation of postoperative supervision.
5. **Socio-Psychological Support:** Maintenance of creative activity and integration of the patient into social and cultural projects.
6. **Equipment and Staff Monitoring:** Ensuring full operational readiness and usage of pulse oximeters, wheelchairs, and blood pressure monitoring systems during nighttime and weekend shifts.

A comprehensive multidisciplinary approach combining cardiological, neurosurgical, and socio-psychological management minimizes the risk of recurrent syncopal episodes and establishes the conditions necessary for the restoration of the patient's social activity and functional independence.

Discussion

General Characteristics of Wolff–Parkinson–White (WPW) Syndrome

Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome is among the most prevalent cardiac conduction disorders capable of causing severe rhythm disturbances, including paroxysmal tachycardia, atrial fibrillation, and even cardiac arrest [9].

In the clinical case of the patient Marianna Svitozar, the coexistence of cardiological and neurological symptoms complicated accurate diagnosis and resulted in the erroneous identification of “epilepsy.” It has been demonstrated that arrhythmias associated with WPW may mimic epileptic seizures due to cerebral hypoxia caused by rhythm disturbances, as confirmed by clinical studies [10].

Combination of Cardiological and Neurological Manifestations

This clinical case illustrates the diagnostic challenges arising from the simultaneous presence of a rare cardiac disorder, diagnostic errors, and insufficient integration of medical services.

WPW syndrome is a congenital cardiac conduction abnormality characterized by the presence of an additional atrioventricular pathway (Kent bundle), leading to premature ventricular excitation and the development of paroxysmal tachycardias.

In this patient, the coexistence of WPW syndrome with episodes of transient cardiac arrest during appendectomy in adolescence increased the risk of cerebral hypoxia and neurological manifestations [11].

The epileptiform symptoms were most likely secondary, associated with hypoxia following clinical death due to intraoperative cardiac arrest. The absence of complete documentation makes it difficult to definitively confirm the cause of cerebral injury; however, the available cardiological data strongly support this hypothesis. WPW syndrome is frequently provoked or exacerbated by surgical interventions or stress conditions [12], underscoring the critical importance of meticulous cardiological monitoring, particularly during perioperative periods.

Early Manifestations and Diagnostic Errors

Analysis of the patient's medical history revealed that the first episodes of sudden loss of consciousness accompanied by convulsions occurred in early childhood.

The absence of full medical records complicates the reconstruction of these events, but available outpatient documentation indicates chronic health issues, including cardiac symptoms, manifesting before the age of fifteen. Subsequent deterioration after appendectomy and possible circulatory compromise during anesthesia suggest transient cerebral ischemia that may have triggered post-hypoxic epileptiform manifestations, complicating the overall clinical picture.

Between 2002 and 2005, the patient was misdiagnosed with "epilepsy" in a psychiatric institution. This diagnostic error had serious clinical and social implications: she was prescribed carbamazepine, a medication that may exacerbate WPW syndrome by inducing arrhythmias [13]. In addition, physical activity and moderate labor were restricted.

Such cases emphasize the critical importance of integrating cardiological, neurological, and psychiatric evaluation in children and adolescents presenting with syncopal episodes [14].

Contemporary Clinical Course

The clinical course in 2025 demonstrates the necessity of a multidisciplinary approach. Prolonged episodes of paroxysmal tachycardia with heart rates reaching up to 250 beats per minute required simultaneous involvement of cardiologists, electrophysiologists, and neurosurgeons.

A cranioplastic craniotomy with microsurgical removal of an anaplastic meningioma allowed control of the neurosurgical component, while subsequent planning of cardiac radiofrequency ablation ensured stabilization of the patient's cardiological profile [15].

Observational data indicate that minimal monitoring (electrocardiography, pulse oximetry, and blood pressure control) in pre- and postoperative periods is critical for timely detection of arrhythmias and prevention of cerebral hypoxia.

Systemic challenges, such as limited access to specialists during evening hours and fragmented staff responsibility, highlight the urgent need for the establishment of multidisciplinary teams to ensure comprehensive management of patients with complex cardio-neurological disorders [16].

Clinical Standards and Diagnostic Framework

The clinical guidelines of the Ministry of Health of Ukraine emphasize the mandatory use of electrocardiography in patients presenting with syncope and arrhythmias.

In this case, a comprehensive assessment using Holter monitoring, echocardiography, and video-EEG enabled differentiation between cardiac and neurological manifestations. Additional thermal testing revealed autonomic instability, complicating the clinical picture and indicating dysregulation of the autonomic nervous system.

In approximately 30% of cases, WPW syndrome can mimic epilepsy; therefore, ECG, Holter monitoring, and echocardiography should become standard diagnostic procedures for syncopal and seizure-like episodes.

Such an approach prevents the unnecessary prescription of antiepileptic drugs that may worsen the course of an underlying cardiac disorder.

Sociocultural Dimension

Despite the limitations imposed by her medical condition, the patient maintains an active creative life, producing a significant body of poetry included in multilingual interactive collections of the “Light of the Soul” series.

This underscores the role of artistic creativity as a compensatory mechanism for psychological resilience and social adaptation, particularly during prolonged treatment and uncertain prognosis [17].

Legal and Ethical Dimension

Given the limited documentation concerning surgical interventions and episodes of cardiac arrest, an independent expert evaluation is advisable to confirm the causes of hypoxic brain injury and to reconsider the classification of disability.

The removal of the tumor, combined with recurrent cardiogenic syncope, may justify reclassification of the disability status from psychiatric to neurocardiological, requiring a multidisciplinary approach to ensure an objective medical and legal assessment of the patient’s condition.

Conclusions

The analysis of the clinical case of a patient with comorbid Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome and post-hypoxic encephalopathy highlights several key aspects of both practical and scientific significance:

1. *Medical Aspect*

- Early and accurate diagnosis of WPW syndrome is critically important for the prevention of arrhythmias and severe complications.
- Continuous cardiological monitoring (electrocardiography, 24-hour Holter monitoring, and echocardiography) in children and adolescents presenting with syncopal conditions enables timely differentiation between cardiac and neurological manifestations and helps avoid the administration of anticonvulsant drugs that may worsen the course of WPW syndrome.
- Patients with comorbid neurological pathology require integrated monitoring to prevent transient cerebral hypoxia during arrhythmic episodes or perioperative states.

2. *Organizational Aspect*

- The management of such patients requires the establishment of multidisciplinary teams that include cardiologists, electrophysiologists, neurologists, neurosurgeons, and psychiatrists.
- Expanding access to medical services during evening, nighttime, and weekend hours is critically important for reducing the risk of complications.
- The implementation of standardized monitoring equipment and staff training (pulse oximetry, blood pressure control) enhances both the safety and effectiveness of medical care delivery.

3. *Socio-Psychological and Cultural Aspect*

- The patient's active creative activity, including publications in multilingual interactive poetry collections, serves as a compensatory mechanism for psychological resilience and contributes to successful social adaptation.
- Social and cultural engagement improves the quality of life of patients with severe diseases, reduces psycho-emotional tension, and facilitates better rehabilitation outcomes.

4. *Legal and Ethical Aspect*

- Misdiagnosis and limited access to medical resources may result in improper determination of disability status and stigmatization of the patient.
- An independent expert evaluation may confirm the causes of hypoxic brain injury and establish an objective degree of disability, thereby supporting appropriate reclassification from a psychiatric to a neurocardiological category.

- Frequent episodes of cardiogenic syncope may justify the formal revision of the patient's social and medical status within the framework of a multidisciplinary assessment.

Overall Clinical and Practical Significance

- This clinical case illustrates the complexity of managing patients with a comorbid combination of WPW syndrome and post-hypoxic encephalopathy.
- It emphasizes the necessity of implementing broad multidisciplinary protocols for the diagnosis and treatment of syncopal and seizure-like disorders.
- Such an approach minimizes the risk of diagnostic errors, ensures timely therapy, and reduces the likelihood of serious complications, bearing direct practical relevance for cardiologists, neurologists, and general practitioners.

References

1. Ministry of Health of Ukraine. (2012, August 3). Unified clinical protocol "Cardiac rhythm disorders in adults" (Order No. 597). Ministry of Health of Ukraine.
2. Havrushenko, L. V., & Mykhailovska, N. S. (2015). Differential diagnosis of epileptic seizures and syncopal episodes in children. *Ukrainian Medical Journal*, 3(107), 68–72.
3. Kostiuk, O. H., & Todurov, B. M. (2019). Socio-legal consequences of misdiagnosis in clinical practice: medical and social expertise. *Public Health*, 8(3), 50–56.
4. Dziak, H. V., & Yavorska, O. O. (2017). Cardiogenic syncopal states: diagnostic difficulties and a multidisciplinary approach. *Cardiology. Heart and Vessels*, 1, 12–18.
5. Anderson, R. H., & Ho, S. Y. (2019). Wolff–Parkinson–White syndrome: Pathophysiology and clinical aspects. *Heart*, 105, 123–130.
6. Ministry of Health of Ukraine. (2024). Clinical guidelines for the management of patients with cardiac conduction disorders (Order No. XXX). Ministry of Health of Ukraine.
7. Ministry of Health of Ukraine. (2021). Order No. 234 "On monitoring of patients at risk of arrhythmia." Ministry of Health of Ukraine.
8. Burns, K. V., & Freedman, R. (2023). Left ventricular ejection fraction. In *StatPearls* [Internet]. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
9. Bilous, P. O. (2019). Wolff–Parkinson–White syndrome: clinical manifestations and diagnostic challenges. *Ukrainian Journal of Cardiology*, 1, 23–29.
10. Cherenko, I. V. (2020). Diagnosis and treatment of arrhythmias in children: current state of the problem. *Cardiology and Internal Medicine*, 2(15), 45–52.

11. Biletsky, R. S. (2021). Hypoxic brain injury in children after cardiac arrest: clinical cases and prognostic aspects. *Medical Perspectives*, 26(4), 112–118.
12. Mironyuk, V. Yu. (2018). WPW syndrome: course, complications, and correction possibilities. *Cardiology of the 21st Century*, 4(7), 66–72.
13. Semeniuk, L. I. (2020). Medications for conduction arrhythmias: risks and clinical cautions. *Pharmacology and Medicine*, 5(12), 78–84.
14. Kozak, O. V. (2017). Syncope in children and adolescents: cardiological and neurological aspects. *Pediatric Medicine*, 1(3), 19–27.
15. Palamarchuk, A. M. (2022). Comprehensive diagnostics of syncopal states: Holter monitoring, EEG, and echocardiography. *Modern Neurology*, 10(2), 51–59.
16. Ministry of Health of Ukraine. (2014, February 24). Unified clinical protocol for the management of arrhythmias in children (Order No. 152). Kyiv: Ministry of Health of Ukraine.
17. Hrynevych, T. O. (2023). Legal and social aspects of disability determination in cardioneurological diseases. *Medical Law of Ukraine*, 2(19), 33–41.

[ES_3]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Caso clínico de meningioma en paciente con WPW

Resumen

El síndrome de Wolff–Parkinson–White syndrome (WPW) es un trastorno congénito de la conducción cardíaca causado por la presencia de una vía accesorio de conducción (haz de Kent), lo que conlleva una activación ventricular prematura y el desarrollo de taquiarritmias paroxísticas. En la mayoría de los casos, estas condiciones son tratables mediante terapias farmacológicas, incluyendo el uso de trifosfato de adenosina y β -bloqueadores [1].

Es importante señalar que hasta un 20-30 % de los episodios inicialmente clasificados como crisis epilépticas pueden, en realidad, tener un origen cardiogénico u otro origen no epiléptico [2]. Los errores diagnósticos en la etapa

inicial pueden dar lugar a consecuencias clínicas y sociales significativas, tales como restricciones de derechos, estigmatización y etiquetado psiquiátrico erróneo [3].

Este artículo presenta un caso clínico de una paciente (nacida en 1975) con un largo historial médico. En 2005 se le diagnosticó inicialmente epilepsia; sin embargo, los seguimientos posteriores no confirmaron la presencia de crisis generalizadas. Las manifestaciones principales fueron episodios súbitos de pérdida de conciencia provocados por arritmias asociadas al síndrome WPW, la presencia de un meningioma anaplásico y una insuficiencia cardíaca crónica. Las dificultades diagnósticas se vieron agravadas por un antecedente de parada circulatoria transitoria e hipoxia cerebral tras una apendicectomía en la infancia, lo que probablemente contribuyó a los cambios neurológicos y tumorales posteriores, haciendo que este caso sea especialmente valioso para un análisis multidisciplinar.

Del 22 de julio al 8 de agosto de 2025, la paciente recibió tratamiento en el Departamento de Neurocirugía del Kharkiv Regional Clinical Hospital (Jefe — Yu. O. Babalyan). El 29 de julio de 2025, bajo la supervisión de la neurocirujana A. O. Pshenichny, se realizó una craneotomía óseo-plástica con resección microquirúrgica del meningioma anaplásico en la región frontal derecha. Los diagnósticos confirmados incluyeron: lesión ocupante de espacio del lóbulo frontal derecho, estados sincopales, síndrome WPW, taquicardia paroxística y estado tras resección tumoral microquirúrgica.

En agosto de 2025 se observó una recidiva de taquiarritmia grave (frecuencia cardíaca hasta 250 latidos por minuto), que requirió atención de urgencia prolongada e ingreso en el servicio terapéutico de la Lozova Territorial Medical Association. El tratamiento se efectuó bajo la supervisión del médico S. S. Slynko y su equipo. Los diagnósticos confirmados incluyeron: síndrome WPW, taquicardia paroxística, insuficiencia cardíaca crónica estadio B (clasificación ACC/AHA) con fracción de eyección ventricular izquierda conservada, y estado tras resección tumoral microquirúrgica.

Este caso clínico subraya la necesidad de un enfoque multidisciplinar que involucre cardiólogos, neurólogos, neurocirujanos y expertos en pericia médico-social con el fin de prevenir errores diagnósticos, asegurar una determinación precisa de la discapacidad funcional y social [4] y optimizar la planificación terapéutica. La dimensión sociocultural del caso se ilustra mediante la actividad creativa continuada de la paciente: a pesar de no poseer estudios superiores, es autora de numerosas obras poéticas incluidas en la colección interactiva multilingüe «Los primeros acordes de luz en el alma». Ello demuestra que el compromiso creativo puede servir como factor de resiliencia psicológica y social incluso en condiciones de severas limitaciones médicas.

Palabras clave: índrome de Wolff-Parkinson-White, error diagnóstico, epilepsia, arritmia, meningioma, tumor cerebral, enfoque multidisciplinar, resiliencia social, creatividad, caso clínico, pericia médico-social.

Introducción

El diagnóstico de pérdida repentina de conciencia en niños y adultos sigue siendo uno de los problemas más complejos de la medicina contemporánea. Según las observaciones clínicas en Ucrania, hasta un 20-30 % de los episodios inicialmente clasificados como crisis epilépticas presentan en realidad un origen cardiogénico, neurogénico u otro origen no epiléptico. Los errores en la etapa diagnóstica primaria conllevan riesgos significativos para los pacientes, incluyendo restricciones de derechos, estigmatización y clasificación psiquiátrica injustificada.

El síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW) se encuentra entre los trastornos congénitos de la conducción cardíaca más frecuentes. Está caracterizado por la presencia de una vía accesorio de conducción (haz de Kent), lo cual produce activación ventricular prematura y el desarrollo de taquiarritmias paroxísticas, incluida la taquicardia de reentrada auriculoventricular (TRAV) [5]. La prevalencia del WPW en la población general se estima en 1,5-2 casos por cada 1 000 individuos. En los adolescentes y adultos jóvenes, este síndrome con frecuencia se diagnostica erróneamente como epilepsia, lo cual genera desafíos adicionales en el ámbito diagnóstico.

En la práctica clínica ucraniana, se han documentado numerosos casos de epilepsia mal diagnosticada en pacientes con síndrome WPW, lo que enfatiza la importancia de un enfoque interdisciplinar. La presencia de arritmias y episodios de pérdida repentina de conciencia requiere un algoritmo diagnóstico claramente definido, que debe incluir electrocardiografía, monitoreo Holter de 24 h y, cuando esté indicado, estudios electrofisiológicos. Según los protocolos clínicos actuales del Ministry of Health of Ukraine, incluso un monitoreo mínimo (ECG, oximetría de pulso y control de presión arterial) durante el periodo preoperatorio y postoperatorio resulta de vital importancia para la detección oportuna de arritmias y la prevención de hipoxia [6].

Las dificultades diagnósticas particulares surgen en casos con antecedentes médicos tempranos. Por ejemplo, durante una apendicectomía en la infancia pueden ocurrir parada circulatoria transitoria (muerte clínica) y un periodo de hipoxia cerebral, lo que podría influir en el desarrollo de cambios neurológicos subsecuentes. Al mismo tiempo, no existen datos clínicos que permitan establecer conclusiones generalizadas acerca de una relación causal entre el síndrome WPW, la apendicectomía y los tumores cerebrales.

Los problemas sistémicos en el acceso a la atención médica frecuentemente complican la respuesta oportuna a episodios arrítmicos. Se han documentado casos

en los que las visitas vespertinas o nocturnas del paciente recibieron atención insuficiente, lo cual evidencia la escasa integración de los servicios médicos y enfatiza la necesidad de establecer equipos multidisciplinarios que incluyan cardiólogos, neurólogos, intensivistas y especialistas en pericia médico-social.

La dimensión sociocultural reviste también una gran relevancia. Los pacientes con afecciones crónicas graves se enfrentan a menudo al aislamiento social y al desgaste psicológico. Mantener una actividad creativa puede constituir un mecanismo compensatorio y un factor de resiliencia. En el presente caso, pese a las serias limitaciones médicas, la paciente produjo un volumen considerable de obras poéticas incluidas en la colección interactiva multilingüe «Los primeros acordes» de la serie «Luz en el alma». Esto demuestra que la actividad artística sustenta el equilibrio psicológico, facilita la adaptación social y promueve la formación de una identidad positiva, especialmente durante tratamientos prolongados y un pronóstico incierto.

Más allá de su relevancia clínica, este caso posee también un valor educativo, al ilustrar cómo un equipo multidisciplinario puede minimizar el riesgo de errores diagnósticos y responder de forma rápida a eventos arrítmicos complejos.

Así pues, el análisis de este caso clínico tiene una doble significación:

- En primer lugar, pone de manifiesto el problema de los errores diagnósticos y la necesidad de un enfoque multidisciplinario en la práctica médica ucraniana;
- En segundo lugar, demuestra el papel de la actividad creativa como recurso de resiliencia psicológica y social.

El objetivo de este artículo es proporcionar un análisis interdisciplinar del caso clínico, identificar las causas de los errores diagnósticos, evaluar las consecuencias sociales y legales, y demostrar la importancia de la actividad creativa como factor de resiliencia.

Objetivo de la investigación

El objetivo de este estudio es realizar un análisis exhaustivo de un caso clínico que implica una patología cardíaca poco frecuente, caracterizada por un prolongado período de errores diagnósticos y de interpretación de los síntomas. Se presta especial atención no solo a los aspectos médicos, sino también a las consecuencias sociales y psicológicas, incluyendo la estigmatización y la formación de actitudes sesgadas hacia la paciente en los entornos familiar, educativo y profesional.

El estudio busca demostrar cómo un enfoque interdisciplinario multinivel — que combine la diagnóstico clínico, el análisis socio-humanitario y la reflexión creativa— contribuye a una comprensión más profunda del caso clínico y al desarrollo de nuevos modelos de respuesta en la práctica médica. Se hace especial hincapié en la importancia de un diagnóstico temprano y preciso para prevenir

complicaciones psicosociales secundarias, así como en la necesidad de integrar el conocimiento médico con enfoques culturales y sociales de la salud.

Materiales y métodos

La paciente estuvo bajo supervisión y tratamiento médico durante el período comprendido entre 1991 y 2025. El estudio se realizó a partir de un análisis retrospectivo de historias clínicas, resultados de exámenes diagnósticos, conclusiones de consultas multidisciplinarias y datos de seguimiento postoperatorio.

1. Condiciones del estudio

La observación de la paciente se efectuó en una serie de instituciones médicas especializadas:

- Instituto Infantil y Adolescente N. K. Krupskaya (1991; actualmente — Centro Clínico Regional Pediátrico de Rehabilitación Médica de Járkiv) — diagnóstico inicial de síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW);
- Instituto Nacional de Terapia L. T. Malaya (1996, 2025) — confirmación del diagnóstico de WPW y reevaluación del estado clínico de la paciente;
- Hospital Psiquiátrico Regional N.º 1 de Járkiv (2002–2005) — interpretación errónea de los síntomas y establecimiento del diagnóstico de “epilepsia”;
- Hospital Clínico Regional de Járkiv, empresa comunal no comercial del Consejo Regional de Járkiv (2025) — observación ambulatoria y hospitalaria, tratamiento neuroquirúrgico;
- Instituto de Cirugía General y de Urgencias V. T. Záitsev (2025) — consulta multidisciplinaria y planificación de la ablación por radiofrecuencia (ARF);
- Instituto de Radiología y Oncología Médica S. P. Grigóriev (2025) — exámenes adicionales y tratamiento de neoplasias cerebrales;
- Asociación Médica Territorial de Lozova, empresa comunal no comercial (2025) — prestación de atención de urgencia durante episodios de arritmia supraventricular.

2. Métodos de examen

Para la evaluación integral del estado de la paciente se emplearon los siguientes métodos:

- **Métodos cardiológicos:** electrocardiografía en reposo y de esfuerzo, monitoreo Holter de 24 h, ecocardiografía, valoración de la fracción de eyección ventricular izquierda, determinación del estadio de insuficiencia cardíaca según la clasificación ACC/AHA;
- **Métodos neurológicos y neuroquirúrgicos:** resonancia magnética (RM), tomografía computarizada (TC), pruebas cognitivas, examen neurológico y monitoreo funcional postoperatorio;

- **Estudios funcionales:** control de la presión arterial, oximetría de pulso, análisis de la dinámica del ECG, pruebas respiratorias para la evaluación de trastornos ventilatorios;
- **Consultas multidisciplinarias:** participación de cirujanos cardíacos, neurocirujanos, neurólogos, arritmólogos y especialistas en diagnóstico funcional;
- **Análisis socio-jurídico:** revisión del historial de la paciente ante la Comisión Médico-Social de Experticia (MSEC), evaluación del impacto del diagnóstico erróneo sobre los derechos profesionales y sociales, y análisis de la actividad cultural y social como factor de resiliencia psicológica.

3. *Cronología de la observación*

- **1991:** detección inicial del síndrome WPW en el Instituto Infantil y Adolescente N. K. Krupskaya;
- **1996:** confirmación del diagnóstico de WPW en el Instituto L. T. Malaya de Terapia;
- **2002–2005:** interpretación errónea de los síntomas y diagnóstico de “epilepsia” en el hospital psiquiátrico;
- **2025:** reexamen integral, evaluación cognitiva, monitoreo de estados sincopales y trastornos postoperatorios; realización de craneotomía óseo-plástica con resección microquirúrgica de meningioma anaplásico; monitoreo y rehabilitación postoperatorios; planificación de ablación por radiofrecuencia (ARF).

4. *Principios de análisis*

El estudio combinó enfoques retrospectivos y prospectivos, integrando datos clínicos, socio-jurídicos y psicológicos. Se prestó especial atención al monitoreo mínimo (electrocardiografía, oximetría de pulso y control de presión arterial) durante los períodos preoperatorio y postoperatorio, con el fin de detectar oportunamente las arritmias y prevenir la hipoxia [7].

Para la evaluación cuantitativa de la función cardíaca en este caso clínico, la fracción de eyección (FE) del ventrículo izquierdo se calculó mediante el método de Simpson, que proporciona una valoración fiable de la función sistólica y es ampliamente utilizado tanto en la práctica clínica como en la investigación. Este enfoque permitió evaluar los cambios dinámicos de la función ventricular a lo largo del tiempo, mejorando así la precisión diagnóstica y la planificación terapéutica.

Esta fórmula permite a los clínicos e investigadores determinar cuantitativamente la eficiencia del gasto cardíaco. Los valores de FE inferiores al 50 % suelen indicar disfunción sistólica, mientras que una fracción de eyección conservada, como se observó en esta paciente, corresponde a una insuficiencia

cardíaca con fracción de eyección preservada (ICFEP), con implicaciones clínicas y terapéuticas específicas.

La evaluación matemática facilitó el seguimiento de la función cardíaca antes y después de la intervención neuroquirúrgica, así como durante los episodios de taquicardia paroxística asociados con el síndrome WPW (véase Fórmula 1).

$$EF(\%) = \frac{EDV - ESV}{EDV} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- EDV — volumen telediastólico del ventrículo izquierdo (mL);
- ESV — volumen telesistólico del ventrículo izquierdo (mL).

Fuente: [8].

El análisis se complementó con una evaluación matemática de la dinámica de los parámetros cardiológicos, lo que permitió seguir la evolución clínica y fundamentar las decisiones diagnósticas y terapéuticas (Tabla 1).

Tabla 1. Observación de parámetros cardiológicos

Año de observación	FC (lpm)	PA (mmHg)	ECG	Observaciones
1991	110	110/70	Fenómeno WPW	Instituto N. K. Krupskaya
1996	112	115/72	WPW confirmado	Instituto L. T. Malaya
2005	120	118/75	Taquicardia sinusal	Diagnóstico erróneo de "epilepsia"
2025 (preoperatorio)	115	120/78	Fenómeno WPW, taquicardia paroxística	Hospital Clínico Regional de Járkiv
2025 (postoperatorio)	115	115/70	Taquicardia sinusal, WPW	Seguimiento postneuroquirúrgico; ARF planificada

Fuentes: elaboración del autor.

El monitoreo continuo de la frecuencia cardíaca, la presión arterial y los parámetros electrocardiográficos permitió evaluar tanto las tendencias a largo plazo como los episodios agudos asociados al síndrome Wolff-Parkinson-White (WPW) y a las arritmias concomitantes. La integración de datos históricos y contemporáneos aportó además un contexto para interpretar el impacto de la intervención neuroquirúrgica y los procedimientos cardiológicos posteriores, incluyendo la ablación por catéter con radiofrecuencia (ARF).

5. Datos objetivos y subjetivos durante la hospitalización

5.1. Quejas subjetivas y manifestaciones clínicas

- La paciente refirió episodios recurrentes de disnea arrítmica que se presentaban en diferentes momentos del día — por la tarde, durante la noche, por la mañana

y en horario diurno. Se documentó una respuesta desigual del personal médico: durante las horas laborales se prestaba asistencia con prontitud, mientras que en las tardes, noches y fines de semana el acceso a la supervisión especializada era limitado.

- En tales circunstancias, la paciente recibió apoyo socio-psicológico y fisiológico continuo de su cónyuge, quien permanecía a su lado de forma permanente. Este acompañamiento tuvo un significado clínico adicional, ya que redujo el riesgo de complicaciones durante los episodios arrítmicos graves y contribuyó a la estabilización de su estado hasta la llegada de la atención médica profesional.
- Durante los contactos con el personal, se registró con frecuencia la expresión “no es nuestra especialidad”, lo que pone de relieve la necesidad clínica de una supervisión complementaria y la importancia de un enfoque interdisciplinario.

5.2. Dotación material y equipamiento

- Con el fin de mejorar la calidad de la atención médica, el fondo proporcionó a la Unidad de Neurocirugía del Hospital Clínico Regional de Járkov sillas de ruedas y un oxímetro de pulso para el control de los parámetros fisiológicos de los pacientes. Durante los primeros días de uso, su efectividad fue limitada debido a las características organizativas del servicio y a deficiencias en los procedimientos internos.
- Para el Servicio de Medicina Interna de la Asociación Médica Territorial de Lozova (KNP “Asociación Médica Territorial de Lozova”), el fondo suministró catéteres y otros materiales médicos, lo que permitió mejorar la atención de urgencia y garantizar una respuesta oportuna ante episodios arrítmicos severos.

5.3. Observaciones objetivas durante la hospitalización

- Tras la intervención quirúrgica, la paciente no fue trasladada a la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) del Servicio de Neurocirugía del Hospital Clínico Regional de Járkov debido a obras de reparación en curso. Los pacientes de la UCI fueron ubicados temporalmente en los pasillos; por ello, la paciente permaneció en una sala general hasta el momento del alta.
- La estancia en la sala general se vio complicada por el ruido de las obras y por perturbaciones auditivas procedentes de otras áreas del hospital (incluyendo explosiones o impactos), lo que generó un estrés psicofisiológico adicional y afectó negativamente el estado de la paciente.
- Se documentaron múltiples casos de traslado de cuerpos de pacientes fallecidos a través de los pasillos del servicio de neurocirugía, lo que evidencia riesgos reales para la seguridad y la vida de los pacientes.
- La falta de documentación completa sobre episodios de disnea severa y pérdida de conciencia, así como la ausencia de datos inmunohistoquímicos exhaustivos,

dificultó la evaluación integral del estado de la paciente y el seguimiento postoperatorio.

- A pesar de estas limitaciones, el personal observó períodos de relativa estabilización de la presión arterial y la frecuencia cardíaca gracias a las medidas de apoyo y a la atención familiar continua.

5.4. *Tratamiento ulterior y aspectos organizativos*

El manejo posterior de la paciente requiere un enfoque integral que abarque componentes médicos, organizativos y socio-psicológicos:

- ***Bloque cardiológico:*** ablación por radiofrecuencia (ARF), monitorización Holter continua, control de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo, evaluación del grado de insuficiencia cardíaca y ajuste de la terapia farmacológica.
- ***Bloque neuroquirúrgico y oncológico:*** seguimiento postoperatorio, estudios de resonancia magnética (RM) y tomografía computarizada (TC) para detectar posibles recurrencias, consultas con neurocirujanos y oncólogos para ajustar la estrategia terapéutica posterior.
- ***Coordinación organizativa:*** garantizar la colaboración entre el KNP Hospital Clínico Regional de Járkov, el Instituto Nacional de Terapia L. T. Malaya, la Asociación Médica Territorial de Lozova, el Instituto Zaicev y el Instituto Grigoriev, incluyendo el acceso permanente (24 horas) a la atención médica y la supervisión de los recursos.
- ***Apoyo socio-jurídico:*** evaluación del grado de discapacidad, determinación del estatus correspondiente, provisión de asistencia psicológica e integración de actividades creativas como factor de resiliencia psicológica.
- ***Medidas de rehabilitación:*** control de la actividad física, rehabilitación cognitiva, apoyo a las iniciativas creativas para mejorar la calidad de vida, tratamiento en entornos de tipo resort y programas de recuperación integral.

Resultados

La paciente, nacida en 1975, comenzó a experimentar los primeros episodios de pérdida súbita de conciencia acompañados de convulsiones durante la infancia. Se le recomendó limitar la actividad física y evitar esfuerzos de intensidad moderada. Las historias clínicas ambulatorias desde 1990 indican la presencia de alteraciones crónicas de la salud, incluyendo dolor torácico recurrente y malestar general.

En 1991, se le diagnosticó por primera vez el síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), diagnóstico que se reconfirmó en 1994. La evaluación electrocardiográfica (ECG) evidenció ondas delta y acortamiento del intervalo PQ,

lo que indicaba la existencia de una vía de conducción auriculoventricular adicional (haz de Kent) y predisposición a taquicardia de reentrada auriculoventricular antidrómica (TRAV).

Entre 2002 y 2005, debido a una insuficiente evaluación cardiológica, la paciente fue hospitalizada erróneamente en un centro psiquiátrico con diagnóstico de “epilepsia”, donde se le prescribieron medicamentos potencialmente peligrosos en presencia de síndrome WPW.

Durante todo el período de observación, la paciente presentó una tendencia persistente a estados sincopales y arritmias cardíacas, confirmada por los resultados de monitoreo ECG prolongado y observación continua mediante Holter.

Datos cardiológicos:

- ***Frecuencia de episodios cardíacos:*** Hasta 20-25 episodios de pérdida súbita de conciencia por año durante la infancia, con una disminución gradual durante la adolescencia bajo control farmacológico (β -bloqueadores, trifosfato de adenosina).
- ***Tipo de arritmia:*** Síndrome WPW, taquicardia paroxística de reentrada auriculoventricular (TRAV) y taquicardia sinusal periódica.
- ***Fracción de eyección ventricular izquierda (FEVI):*** En 2025, antes de la cirugía — 58 %; después de la intervención neuroquirúrgica — 56 %, con función sistólica del ventrículo izquierdo preservada según datos ecocardiográficos.

El estado cardiológico de la paciente indica un síndrome WPW persistente con episodios recurrentes de taquicardia paroxística, lo que requiere monitorización continua y consideración de ablación por catéter como medida terapéutica definitiva.

Datos neurológicos y neuroquirúrgicos:

- ***Hallazgos por RM y TC:*** En 2025, se detectó una masa intracraneal en el lóbulo frontal derecho con signos de anaplasia.
- ***Condición postoperatoria:*** La paciente fue sometida a craneoplastia y resección microquirúrgica de un tumor extracerebral, resultando en estabilización de las funciones neurológicas durante el período postoperatorio.
- ***Evaluación cognitiva:*** Las evaluaciones pre- y postoperatorias revelaron cambios mínimos en atención y memoria, indicando un déficit cognitivo postoperatorio insignificante.
- ***Impacto de episodios tempranos de hipoxia transitoria durante cirugías infantiles:*** Estos episodios pueden haber ejercido efectos a largo plazo sobre el desarrollo neurológico y requieren investigación adicional en estudios prospectivos.

La intervención neuroquirúrgica permitió la resección completa del tumor, la estabilización del estado neurológico y la preservación de las funciones cognitivas, lo cual es de importancia decisiva para la planificación del manejo cardiológico posterior.

Datos funcionales y socio-psicológicos:

- ***Monitoreo de parámetros vitales:*** Durante la hospitalización, se registraron episodios de disnea arrítmica, principalmente en las horas vespertinas y nocturnas. El personal médico respondió con prontitud durante las horas laborales; sin embargo, se observaron demoras en la atención durante la noche y los fines de semana en el servicio de neurocirugía del Hospital Clínico Regional de Járkov.
- ***Apoyo:*** Para reducir riesgos durante períodos de supervisión médica limitada, la paciente recibió apoyo social y psicológico continuo por parte de familiares.
- ***Actividad socio-psicológica:*** La paciente continúa realizando actividad creativa, especialmente poesía, publicada con traducciones multilingües en la serie interactiva “La Luz del Alma”. Esta actividad influye positivamente en la resiliencia psicológica y facilita la adaptación social, destacando la importancia del compromiso cultural dentro de una estrategia terapéutica integral.

La expresión creativa funciona como un mecanismo compensatorio de resiliencia psicológica, mientras que la disponibilidad limitada de recursos médicos durante las horas nocturnas resalta la necesidad de mantener equipos multidisciplinarios completamente operativos.

Estrategia para el manejo posterior:

1. ***Seguimiento cardiológico:*** planificación e implementación de ablación por radiofrecuencia (ARF) para eliminar los episodios de taquicardia paroxística.
2. ***Seguimiento neuroquirúrgico y neurológico:*** monitoreo postoperatorio con evaluación cognitiva y motora, seguido de observación ambulatoria de la dinámica de recuperación.
3. ***Provisión terapéutica:*** garantizar la accesibilidad permanente a los servicios médicos de emergencia.
4. ***Instituciones especializadas del Estado:*** participación en consultas clínicas multidisciplinarias, realización de exámenes diagnósticos adicionales y supervisión postoperatoria.
5. ***Apoyo socio-psicológico:*** mantenimiento de la actividad creativa e integración de la paciente en proyectos sociales y culturales.
6. ***Monitoreo de equipamiento y personal:*** asegurar la operatividad completa y el uso de oxímetros de pulso, sillas de ruedas y sistemas de control de presión arterial durante turnos nocturnos y fines de semana.

Un enfoque multidisciplinario integral que combine manejo cardiológico, neuroquirúrgico y socio-psicológico minimiza el riesgo de episodios sincopales recurrentes y establece las condiciones necesarias para la recuperación de la actividad social y la independencia funcional de la paciente.

Discusión

Características generales del síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW)

El síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) se encuentra entre los trastornos de conducción cardíaca más prevalentes y es capaz de provocar alteraciones del ritmo graves, incluyendo taquicardia paroxística, fibrilación auricular e incluso paro cardíaco [9].

En el caso clínico de la paciente Marianna Svitozar, la coexistencia de síntomas cardiológicos y neurológicos complicó el diagnóstico preciso y resultó en la identificación errónea de “epilepsia”. Estudios clínicos han demostrado que las arritmias asociadas al WPW pueden imitar crisis epilépticas debido a la hipoxia cerebral provocada por alteraciones rítmicas [10].

Combinación de manifestaciones cardiológicas y neurológicas

Este caso clínico ilustra los desafíos diagnósticos que surgen de la presencia simultánea de un trastorno cardíaco raro, errores diagnósticos e insuficiente integración de los servicios médicos.

El síndrome WPW es una anomalía congénita de la conducción cardíaca, caracterizada por una vía auriculoventricular adicional (haz de Kent) que provoca excitación ventricular prematura y taquicardias paroxísticas.

En esta paciente, la coexistencia del síndrome WPW con episodios de paro cardíaco transitorio durante la apendicectomía en la adolescencia aumentó el riesgo de hipoxia cerebral y manifestaciones neurológicas [11].

Los síntomas epileptiformes fueron probablemente secundarios, asociados a la hipoxia tras la muerte clínica por paro cardíaco intraoperatorio. La ausencia de documentación completa dificulta la confirmación definitiva de la causa de la lesión cerebral; sin embargo, los datos cardiológicos disponibles apoyan firmemente esta hipótesis. El síndrome WPW se ve con frecuencia provocado o exacerbado por intervenciones quirúrgicas o condiciones de estrés [12], lo que subraya la importancia crítica de un monitoreo cardiológico meticuloso, especialmente durante los períodos perioperatorios.

Manifestaciones tempranas y errores diagnósticos

El análisis del historial médico de la paciente reveló que los primeros episodios de pérdida súbita de conciencia acompañados de convulsiones ocurrieron en la infancia temprana.

La ausencia de registros médicos completos complica la reconstrucción de estos eventos, pero la documentación ambulatoria disponible indica problemas de

salud crónicos, incluidos síntomas cardíacos, presentes antes de los quince años. El deterioro tras la apendicectomía y el posible compromiso circulatorio durante la anestesia sugieren isquemia cerebral transitoria, que pudo desencadenar manifestaciones epileptiformes post-hipóxicas, complicando el cuadro clínico.

Entre 2002 y 2005, la paciente fue diagnosticada erróneamente con “epilepsia” en una institución psiquiátrica. Este error diagnóstico tuvo serias implicaciones clínicas y sociales: se le prescribió carbamazepina, un fármaco que puede agravar el síndrome WPW al inducir arritmias [13]. Además, se restringió la actividad física y el trabajo de intensidad moderada.

Casos como este destacan la importancia crítica de integrar la evaluación cardiológica, neurológica y psiquiátrica en niños y adolescentes que presentan episodios sincopales [14].

Curso clínico contemporáneo

El curso clínico en 2025 evidencia la necesidad de un enfoque multidisciplinario. Los episodios prolongados de taquicardia paroxística con frecuencias cardíacas de hasta 250 latidos por minuto requirieron la participación simultánea de cardiólogos, electrofisiólogos y neurocirujanos.

Una craneotomía óseo-plástica con resección microquirúrgica de un meningioma anaplásico permitió el control del componente neuroquirúrgico, mientras que la planificación posterior de ablación cardíaca por radiofrecuencia aseguró la estabilización del perfil cardiológico de la paciente [15].

Los datos observacionales indican que el monitoreo mínimo (electrocardiografía, oximetría de pulso y control de presión arterial) en los períodos pre- y postoperatorios es crítico para la detección oportuna de arritmias y la prevención de hipoxia cerebral.

Los desafíos sistémicos, como el acceso limitado a especialistas durante las horas vespertinas y la fragmentación de la responsabilidad del personal, subrayan la necesidad urgente de establecer equipos multidisciplinarios que garanticen un manejo integral de pacientes con trastornos cardio-neurológicos complejos [16].

Estándares clínicos y marco diagnóstico

Las guías clínicas del Ministerio de Salud de Ucrania enfatizan el uso obligatorio de la electrocardiografía en pacientes que presentan síncope y arritmias.

En este caso, una evaluación integral con Holter, ecocardiografía y video-EEG permitió diferenciar manifestaciones cardíacas de neurológicas. Pruebas térmicas adicionales evidenciaron inestabilidad autonómica, complicando el cuadro e indicando disfunción del sistema nervioso autónomo.

En aproximadamente el 30 % de los casos, el síndrome WPW puede imitar epilepsia; por lo tanto, ECG, monitorización Holter y ecocardiografía deben

convertirse en procedimientos diagnósticos estándar para episodios sincopales y similares a crisis epilépticas.

Este enfoque previene la prescripción innecesaria de fármacos antiepilépticos que podrían empeorar la evolución de un trastorno cardíaco subyacente.

Dimensión sociocultural

A pesar de las limitaciones impuestas por su condición médica, la paciente mantiene una vida creativa activa, produciendo un volumen significativo de poesía incluida en colecciones interactivas multilingües de la serie “La Luz del Alma”.

Esto subraya el papel de la creatividad artística como mecanismo compensatorio de resiliencia psicológica y adaptación social, particularmente durante tratamientos prolongados y pronósticos inciertos [17].

Dimensión legal y ética

Dada la documentación limitada respecto a intervenciones quirúrgicas y episodios de paro cardíaco, se recomienda una evaluación pericial independiente para confirmar las causas de la lesión cerebral hipóxica y reconsiderar la clasificación de la discapacidad.

La resección del tumor, combinada con síncope cardiogénico recurrente, puede justificar la reclasificación del estatus de discapacidad de psiquiátrico a neurocardiológico, requiriendo un enfoque multidisciplinario para garantizar una evaluación médica y legal objetiva del estado de la paciente.

Conclusiones

El análisis del caso clínico de una paciente con síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) comórbido y encefalopatía post-hipóxica resalta varios aspectos clave de relevancia tanto práctica como científica:

1. Aspecto médico

- El diagnóstico temprano y preciso del síndrome WPW es de importancia crítica para la prevención de arritmias y complicaciones graves.
- La monitorización cardiológica continua (electrocardiografía, Holter de 24 horas y ecocardiografía) en niños y adolescentes con episodios sincopales permite diferenciar oportunamente entre manifestaciones cardíacas y neurológicas, evitando la administración de fármacos anticonvulsivos que podrían agravar el curso del síndrome WPW.
- Los pacientes con patología neurológica comórbida requieren un monitoreo integrado para prevenir hipoxia cerebral transitoria durante episodios arrítmicos o estados perioperatorios.

2. Aspecto organizativo

- El manejo de estos pacientes requiere la conformación de equipos multidisciplinarios que incluyan cardiólogos, electrofisiólogos, neurólogos, neurocirujanos y psiquiatras.

- Ampliar el acceso a los servicios médicos por la tarde, noche y fines de semana es crucial para reducir el riesgo de complicaciones.
- La implementación de equipos de monitorización estandarizados y la capacitación del personal (oximetría de pulso, control de presión arterial) mejora tanto la seguridad como la efectividad de la atención médica.

3. Aspecto socio-psicológico y cultural

- La actividad creativa activa de la paciente, incluyendo publicaciones en colecciones poéticas interactivas multilingües, funciona como un mecanismo compensatorio de resiliencia psicológica y contribuye a la adaptación social exitosa.
- La participación social y cultural mejora la calidad de vida de los pacientes con enfermedades graves, reduce la tensión psicoemocional y facilita mejores resultados en rehabilitación.

4. Aspecto legal y ético

- Los errores diagnósticos y el acceso limitado a recursos médicos pueden derivar en una determinación inadecuada del estatus de discapacidad y en la estigmatización de la paciente.
- Una evaluación pericial independiente puede confirmar las causas de la lesión cerebral hipóxica y establecer un grado objetivo de discapacidad, apoyando una reclasificación adecuada de psiquiátrica a neurocardiológica.
- Los episodios frecuentes de síncope cardiogénico pueden justificar la revisión formal del estatus social y médico de la paciente dentro del marco de una evaluación multidisciplinaria.

Significado clínico y práctico general

- Este caso clínico ilustra la complejidad del manejo de pacientes con una combinación comórbida de síndrome WPW y encefalopatía post-hipóxica.
- Subraya la necesidad de implementar protocolos multidisciplinarios para el diagnóstico y tratamiento de síncope y crisis semejantes a epilépticas.
- Este enfoque minimiza errores diagnósticos, asegura la terapia oportuna y reduce la probabilidad de complicaciones graves, siendo relevante para cardiólogos, neurólogos y médicos de atención primaria.

Referencias

1. Ministerio de Salud de Ucrania. (2012, 3 de agosto). Protocolo clínico unificado: Trastornos del ritmo cardíaco en adultos (Orden N.º 597). Kyiv: Ministerio de Salud de Ucrania.
2. Havrushenko, L. V., & Mykhailovska, N. S. (2015). Diagnóstico diferencial de crisis epilépticas y episodios sincopales en niños. *Ukrainian Medical Journal*, 3(107), 68–72.

3. Kostiuk, O. H., & Todurov, B. M. (2019). Consecuencias socio-legales del diagnóstico incorrecto en la práctica clínica: pericia médica y social. *Public Health*, 8(3), 50–56.
4. Dziak, H. V., & Yavorska, O. O. (2017). Estados sincopales cardiogénicos: dificultades diagnósticas y enfoque multidisciplinario. *Cardiology: Heart and Vessels*, 1, 12–18.
5. Anderson, R. H., & Ho, S. Y. (2019). Síndrome de Wolff–Parkinson–White: fisiopatología y aspectos clínicos. *Heart*, 105, 123–130.
6. Ministerio de Salud de Ucrania. (2024). Guías clínicas para el manejo de pacientes con trastornos de la conducción cardíaca (Orden N.º XXX). Kyiv: Ministerio de Salud de Ucrania.
7. Ministerio de Salud de Ucrania. (2021). Orden N.º 234 “Sobre la monitorización de pacientes en riesgo de arritmia.” Kyiv: Ministerio de Salud de Ucrania.
8. Burns, K. V., & Freedman, R. (2023). Fracción de eyección del ventrículo izquierdo. En StatPearls [Internet]. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
9. Bilous, P. O. (2019). Síndrome de Wolff–Parkinson–White: manifestaciones clínicas y desafíos diagnósticos. *Ukrainian Journal of Cardiology*, 1, 23–29.
10. Cherenko, I. V. (2020). Diagnóstico y tratamiento de arritmias en niños: estado actual del problema. *Cardiology and Internal Medicine*, 2(15), 45–52.
11. Biletsky, R. S. (2021). Lesión cerebral hipóxica en niños tras paro cardíaco: casos clínicos y aspectos pronósticos. *Medical Perspectives*, 26(4), 112–118.
12. Mironyuk, V. Yu. (2018). Síndrome WPW: curso, complicaciones y posibilidades de corrección. *Cardiology of the 21st Century*, 4(7), 66–72.
13. Semeniuk, L. I. (2020). Medicamentos para arritmias de conducción: riesgos y precauciones clínicas. *Pharmacology and Medicine*, 5(12), 78–84.
14. Kozak, O. V. (2017). Síncope en niños y adolescentes: aspectos cardiológicos y neurológicos. *Pediatric Medicine*, 1(3), 19–27.
15. Palamarchuk, A. M. (2022). Diagnóstico integral de estados sincopales: monitorización Holter, EEG y ecocardiografía. *Modern Neurology*, 10(2), 51–59.
16. Ministerio de Salud de Ucrania. (2014, 24 de febrero). Protocolo clínico unificado para el manejo de arritmias en niños (Orden N.º 152). Kyiv: Ministerio de Salud de Ucrania.
17. Hrynevych, T. O. (2023). Aspectos legales y sociales de la determinación de discapacidad en enfermedades cardioneurológicas. *Medical Law of Ukraine*, 2(19), 33–41.

[FR_3]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. мед. наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Cas clinique de méningiome chez un patient atteint de WPW

Résumé

Le syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) est un trouble congénital de la conduction cardiaque causé par la présence d'une voie de conduction accessoire (faisceau de Kent), entraînant une excitation ventriculaire prématurée et le développement de tachyarythmies paroxystiques. Dans la majorité des cas, ces affections sont traitables par une thérapie pharmacologique, incluant l'administration d'adénosine triphosphate et de bêta-bloquants [1]. Il est important de noter que jusqu'à 20–30 % des épisodes initialement classés comme crises épileptiques peuvent, en réalité, avoir une origine cardiogénique ou non épileptique [2]. Les erreurs diagnostiques initiales peuvent entraîner des conséquences cliniques

et sociales significatives, telles que la restriction des droits, la stigmatisation et une attribution psychiatrique erronée [3].

Cet article rapporte un cas clinique d'une patiente née en 1975, présentant des antécédents médicaux de longue date. En 2005, un diagnostic initial d'épilepsie a été posé ; toutefois, le suivi ultérieur n'a pas confirmé la présence de crises généralisées. Les manifestations principales incluaient des épisodes soudains de perte de conscience liés à des arythmies associées au syndrome WPW, la présence d'un méningiome anaplasique et une insuffisance cardiaque chronique. Les défis diagnostiques étaient renforcés par des antécédents d'arrêt circulatoire transitoire et d'hypoxie cérébrale survenus après une appendicectomie durant l'enfance, probablement à l'origine de modifications neurologiques et tumorales ultérieures, rendant ce cas particulièrement pertinent pour une analyse multidisciplinaire.

Du 22 juillet au 8 août 2025, la patiente a été prise en charge au département de neurochirurgie de l'Hôpital clinique régional de Kharkiv (chef : Yu. O. Babalyan). Le 29 juillet 2025, sous la supervision du neurochirurgien A. O. Pshenichny, une craniotomie avec reconstruction osseuse et résection microscopique du méningiome anaplasique dans la région frontale droite a été réalisée. Les diagnostics confirmés comprenaient : lésion occupant l'espace du lobe frontal droit, états syncopaux, syndrome WPW, tachycardie paroxystique et état post-résection tumorale microscopique.

En août 2025, une récurrence de tachyarythmie sévère (fréquence cardiaque jusqu'à 250 battements par minute) a été observée, nécessitant une prise en charge urgente prolongée et une hospitalisation au service thérapeutique de l'Association médicale territoriale de Lozova, sous la supervision du médecin S. S. Slynko et de l'équipe médicale. Les diagnostics confirmés comprenaient le syndrome WPW, la tachycardie paroxystique, une insuffisance cardiaque chronique stade B (classification ACC/AHA) avec fraction d'éjection ventriculaire gauche préservée et état post-résection tumorale microscopique.

Ce cas clinique souligne la nécessité d'une approche multidisciplinaire impliquant cardiologues, neurologues, neurochirurgiens et experts médico-sociaux afin de prévenir les erreurs diagnostiques, de garantir une évaluation précise de l'incapacité fonctionnelle et sociale [4], et d'optimiser la planification thérapeutique. La dimension socioculturelle est illustrée par l'activité créative continue de la patiente : malgré l'absence de formation supérieure, elle est l'auteure de nombreux poèmes inclus dans la collection interactive multilingue « Les Premiers Accords de Lumière dans l'Âme ». Cela démontre que l'engagement créatif peut constituer un facteur de résilience psychologique et sociale, même dans des conditions de limitations médicales sévères.

Mots-clés: syndrome de Wolff–Parkinson–White, erreur diagnostique, épilepsie, arythmie, méningiome, tumeur cérébrale, approche multidisciplinaire, résilience sociale, créativité, cas clinique, expertise médico-sociale.

Introduction

Le diagnostic des pertes de conscience soudaines chez l'enfant et l'adulte reste l'un des problèmes les plus complexes de la médecine contemporaine. Selon les observations cliniques ukrainiennes, jusqu'à 20–30 % des épisodes initialement classés comme crises épileptiques ont en réalité une origine cardiogénique, neurogène ou autre. Les erreurs lors du diagnostic initial exposent les patients à des risques significatifs, notamment la restriction de droits, la stigmatisation et une classification psychiatrique inappropriée.

Le syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) est l'un des troubles congénitaux de conduction cardiaque les plus fréquents. Il se caractérise par la présence d'une voie de conduction accessoire (faisceau de Kent), provoquant une activation ventriculaire prématurée et le développement de tachyarythmies paroxystiques, y compris la tachycardie atrioventriculaire réentrante (AVRT) [5]. La prévalence du WPW dans la population générale est estimée à 1,5–2 cas pour 1000 individus. Chez les adolescents et jeunes adultes, le syndrome est souvent médiagnostiqué comme épilepsie, créant des défis diagnostiques supplémentaires.

En pratique clinique ukrainienne, de nombreux cas d'épilepsie mal diagnostiquée chez des patients atteints de WPW ont été documentés, soulignant l'importance d'une approche interdisciplinaire. La présence d'arythmies et d'épisodes de perte de conscience exige un algorithme diagnostique clairement défini, incluant l'électrocardiographie, la surveillance Holter 24 h et, le cas échéant, des études électrophysiologiques. Selon les protocoles cliniques actuels du ministère de la Santé de l'Ukraine, même une surveillance minimale (ECG, oxymétrie pulsée et contrôle de la pression artérielle) en période pré- et post-opératoire est cruciale pour la détection précoce des arythmies et la prévention de l'hypoxie [6].

Des difficultés diagnostiques particulières surviennent en cas d'antécédents médicaux précoces. Par exemple, une appendicectomie durant l'enfance peut entraîner un arrêt circulatoire transitoire (mort clinique) et une période d'hypoxie cérébrale, pouvant influencer le développement ultérieur de modifications neurologiques. Cependant, aucune donnée clinique ne permet de tirer des conclusions générales sur une relation causale entre le syndrome WPW, l'appendicectomie et les tumeurs cérébrales.

Les problèmes systémiques d'accès aux soins compliquent souvent la réponse rapide aux épisodes arythmiques. Des cas documentés de consultations en soirée ou de nuit ayant reçu une attention insuffisante mettent en évidence l'intégration insuffisante des services médicaux et soulignent la nécessité de constituer des

équipes multidisciplinaires incluant cardiologues, neurologues, intensivistes et experts en expertise médico-sociale.

La dimension socioculturelle est également importante. Les patients atteints de maladies chroniques graves rencontrent souvent isolement social et fatigue psychologique. Le maintien d'une activité créative peut constituer un mécanisme compensatoire et un facteur de résilience. Dans le cas présenté, malgré de graves limitations médicales, la patiente a produit une œuvre poétique substantielle, incluse dans la collection interactive multilingue « Les Premiers Accords » de la série « Lumière dans l'Âme ». Cette activité artistique soutient l'équilibre psychologique, facilite l'adaptation sociale et favorise la formation d'une identité positive, notamment en période de traitement prolongé et de pronostic incertain.

Au-delà de sa pertinence clinique, ce cas possède une valeur pédagogique, illustrant comment une équipe multidisciplinaire peut réduire le risque d'erreurs diagnostiques et réagir rapidement à des événements arythmiques complexes.

Ainsi, l'analyse de ce cas clinique présente une double portée :

- D'une part, elle met en évidence le problème des erreurs diagnostiques et la nécessité d'une approche multidisciplinaire en pratique médicale ukrainienne ;
- D'autre part, elle démontre le rôle de l'activité créative comme ressource de résilience psychologique et sociale.

L'objectif de cet article est de fournir une analyse interdisciplinaire du cas clinique, d'identifier les causes des erreurs diagnostiques, d'évaluer les conséquences sociales et légales, et de montrer l'importance de l'activité créative en tant que facteur de résilience.

Objectif de la recherche

L'objectif de cette étude est de réaliser une analyse exhaustive d'un cas clinique impliquant une pathologie cardiaque rare, caractérisée par une période prolongée de diagnostics erronés et d'interprétations inadéquates des symptômes. Une attention particulière est accordée non seulement aux aspects médicaux, mais également aux conséquences sociales et psychologiques, notamment la stigmatisation et la formation d'attitudes biaisées à l'égard de la patiente dans les environnements familial, éducatif et professionnel.

L'étude vise à démontrer comment une approche interdisciplinaire à plusieurs niveaux — combinant diagnostic clinique, analyse socio-humanitaire et réflexion créative — contribue à une compréhension approfondie du cas clinique et à l'élaboration de nouveaux modèles de réponse dans la pratique médicale. Une importance particulière est accordée au diagnostic précoce et précis, essentiel pour prévenir les complications psychosociales secondaires, ainsi qu'à la nécessité d'intégrer les connaissances médicales aux approches culturelles et sociales de la santé.

Matériels et méthodes

La patiente a été suivie médicalement et traitée entre 1991 et 2025. L'étude repose sur une analyse rétrospective des dossiers médicaux, des résultats d'examens diagnostiques, des conclusions de consultations multidisciplinaires et des données de suivi postopératoire.

1. Conditions de l'étude

L'observation de la patiente a été effectuée dans plusieurs établissements médicaux spécialisés :

- Institut pour enfants et adolescents N. K. Kroupskaïa (1991 ; actuellement — Centre clinique régional de réadaptation médicale pédiatrique de Kharkiv) — diagnostic initial du syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) ;
- Institut national de thérapie L. T. Malaya (1996, 2025) — confirmation du diagnostic de WPW et réévaluation de l'état de la patiente ;
- Hôpital psychiatrique régional n° 1 de Kharkiv (2002–2005) — mauvaise interprétation des symptômes ayant conduit à un diagnostic erroné d'«épilepsie» ;
- Hôpital clinique régional de Kharkiv, entreprise communale non commerciale du Conseil régional de Kharkiv (2025) — observation ambulatoire et hospitalière, traitement neurochirurgical ;
- Institut de chirurgie générale et d'urgence V. T. Zaitsev (2025) — consilium multidisciplinaire et planification d'une ablation par radiofréquence (ARF) ;
- Institut de radiologie et d'oncologie médicale S. P. Grigoriev (2025) — examens complémentaires et traitement des néoplasmes cérébraux ;
- Association médicale territoriale de Lozova, entreprise communale non commerciale (2025) — soins d'urgence lors d'épisodes de tachyarythmie supraventriculaire.

2. Méthodes d'examen

Pour une évaluation complète de l'état de la patiente, les méthodes suivantes ont été utilisées :

- Méthodes cardiologiques : électrocardiographie (au repos et sous effort), surveillance Holter 24 h, échocardiographie, mesure de la fraction d'éjection ventriculaire gauche, détermination du stade d'insuffisance cardiaque selon la classification ACC/AHA ;
- Méthodes neurologiques et neurochirurgicales : imagerie par résonance magnétique (IRM), tomodensitométrie (TDM), tests cognitifs, examen neurologique, surveillance fonctionnelle postopératoire ;
- Études fonctionnelles : contrôle de la pression artérielle, oxymétrie de pouls, analyse dynamique de l'ECG, tests respiratoires pour l'évaluation des troubles ventilatoires ;

- Consultations multidisciplinaires : participation de chirurgiens cardiaques, neurochirurgiens, neurologues, arythmologues et spécialistes en diagnostic fonctionnel ;
- Analyse socio-juridique : examen du parcours de la patiente auprès de la Commission médico-sociale d'expertise (CMSE), évaluation de l'impact du mauvais diagnostic sur les droits professionnels et sociaux, analyse de l'activité culturelle et sociale comme facteur de résilience psychologique.

3. Chronologie de l'observation

- **1991**: détection initiale du syndrome WPW à l'Institut pour enfants et adolescents N. K. Kroupskaïa ;
- **1996**: confirmation du diagnostic de WPW à l'Institut de thérapie L. T. Malaya;
- **2002–2005**: mauvaise interprétation des symptômes et diagnostic erroné d'« épilepsie » à l'hôpital psychiatrique ;
- **2025**: réévaluation complète, examen cognitif, surveillance des états syncopaux et des troubles postopératoires ; réalisation d'une craniotomie ostéoplastique avec résection microscopique d'un méningiome anaplasique ; suivi postopératoire et rééducation ; planification d'une ablation par radiofréquence (ARF).

4. Principes d'analyse

L'étude a combiné des approches rétrospectives et prospectives, intégrant des données cliniques, médico-légales et psychologiques. Une attention particulière a été portée à la surveillance minimale (électrocardiographie, oxymétrie de pouls et contrôle de la pression artérielle) durant les périodes préopératoire et postopératoire afin de détecter en temps utile les arythmies et prévenir l'hypoxie [7].

Pour l'évaluation quantitative de la fonction cardiaque dans ce cas clinique, la fraction d'éjection ventriculaire gauche (FE) a été calculée selon la méthode de Simpson, qui fournit une évaluation fiable de la fonction systolique et est largement utilisée en pratique clinique ainsi qu'en recherche. Cette approche a permis d'évaluer les changements dynamiques de la fonction ventriculaire au fil du temps, améliorant ainsi la précision du diagnostic et de la planification thérapeutique.

Cette formule permet aux cliniciens et chercheurs de déterminer quantitativement l'efficacité du débit cardiaque. Des valeurs de FE inférieures à 50 % indiquent généralement une dysfonction systolique, tandis qu'une fraction d'éjection préservée, comme observée chez ce patient, correspond à une insuffisance cardiaque avec fraction d'éjection préservée (ICFEP), une condition qui porte des implications cliniques et thérapeutiques spécifiques.

La surveillance continue de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle et des paramètres électrocardiographiques (ECG) a permis d'évaluer à la fois les tendances à long terme et les épisodes aigus associés au syndrome de Wolff–

Parkinson–White (WPW) et aux arythmies concomitantes. L'intégration des données historiques et contemporaines a également fourni un cadre interprétatif pour évaluer l'impact de l'intervention neurochirurgicale et des procédures cardiologiques ultérieures, notamment l'ablation par radiofréquence (RFA) à l'aide de cathéter.

L'évaluation mathématique a facilité le suivi de la fonction cardiaque avant et après l'intervention neurochirurgicale, ainsi que pendant les épisodes de tachycardie paroxystique associés au syndrome de Wolff–Parkinson–White (voir Formule 1).

$$EF(\%) = \frac{EDV - ESV}{EDV} \times 100 \quad (1)$$

Où :

- EDV : volume télédiastolique du ventricule gauche (mL)
- ESV : volume télésystolique du ventricule gauche (mL)

Source : [8].

L'analyse a été enrichie par l'évaluation mathématique de la dynamique des paramètres cardiologiques, ce qui a permis de suivre l'évolution clinique et de justifier les décisions diagnostiques et thérapeutiques (Tableau 1).

Tableau 1. Observation des paramètres cardiologiques

Année d'observation	FC (bpm)	PA (mmHg)	ECG	Remarques
1991	110	110/70	phénomène WPW	Institut national pour enfants et adolescents N. K. Kroupskaïa
1996	112	115/72	WPW confirmé	Institut national de thérapie L. T. Malaïa
2005	120	118/75	tachycardie sinusale	Erreur de diagnostic d'« épilepsie »
2025 (préopératoire)	115	120/78	phénomène WPW, tachycardie paroxystique	Hôpital clinique régional de Kharkiv, Conseil régional de Kharkiv
2025 (postopératoire)	115	115/70	tachycardie sinusale, WPW	Suivi post-neurochirurgical ; ablation par cathéter à radiofréquence (RFA) cardiaque

Sources : élaboration de l'auteur.

5. Données objectives et subjectives pendant l'hospitalisation

5.1. Plaintes subjectives et manifestations cliniques

- La patiente a rapporté des épisodes récurrents de dyspnée arythmique survenant à différents moments de la journée : en soirée, la nuit, le matin et pendant la journée. Une réactivité inégale du personnel médical a été observée : pendant les heures de travail, l'assistance était fournie rapidement, tandis que l'accès à une supervision qualifiée était limité en soirée, la nuit et le week-end.

- Dans ces circonstances, la patiente a bénéficié d'un soutien psychosocial et physiologique continu de la part de son conjoint, qui est resté à ses côtés 24 heures sur 24. Ce soutien avait une signification clinique supplémentaire, car il a réduit le risque de complications lors des épisodes arythmiques graves et a contribué à la stabilisation de son état jusqu'à la prise en charge médicale professionnelle.
- Lors de ses contacts avec le personnel, la phrase « ce n'est pas notre spécialité » a été fréquemment entendue, mettant en lumière la nécessité clinique d'une surveillance supplémentaire et l'importance d'une approche interdisciplinaire.

5.2. Fourniture matérielle et équipements

- Afin d'améliorer la qualité des soins médicaux, le fonds a fourni au service de neurochirurgie de l'Hôpital clinique régional de Kharkiv des fauteuils roulants et un oxymètre de pouls pour surveiller les paramètres physiologiques des patients. Au cours des premiers jours d'utilisation, leur efficacité a été limitée en raison des caractéristiques organisationnelles du service et des carences dans les procédures internes.
- Pour le service thérapeutique de l'Association médicale territoriale de Lozova (KNP « Association médicale territoriale de Lozova »), le fonds a fourni des cathéters et d'autres matériels médicaux, ce qui a amélioré la prise en charge des urgences et assuré une réponse rapide aux épisodes arythmiques sévères.

5.3. Observations objectives pendant l'hospitalisation

- Après la chirurgie, la patiente n'a pas été transférée en unité de soins intensifs (USI) du service de neurochirurgie de l'Hôpital clinique régional de Kharkiv en raison de travaux de réparation en cours. Les patients de l'USI ont été temporairement logés dans des couloirs, la patiente a donc été placée dans une chambre de soins généraux jusqu'à sa sortie.
- Le séjour en chambre de soins généraux a été compliqué par le bruit des travaux de réparation, ainsi que par des perturbations sonores provenant d'autres zones de l'hôpital (notamment des explosions ou des impacts), ce qui a causé un stress psychophysiologique supplémentaire et a eu un impact négatif sur l'état de la patiente.
- Plusieurs cas de transport de corps de patients décédés dans les couloirs du service de neurochirurgie ont été documentés, mettant en évidence des risques réels pour la sécurité et la vie des patients.
- Une absence de documentation complète concernant les épisodes de dyspnée sévère et de perte de conscience, ainsi qu'un jeu de données immunohistochimiques incomplet, ont rendu difficile une évaluation approfondie de l'état de la patiente et un suivi postopératoire adéquat.

- Malgré ces limitations, le personnel a noté des périodes de stabilisation relative de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque grâce aux mesures de soutien et aux soins familiaux continus.

5.4. *Poursuite du traitement et aspects organisationnels*

La gestion ultérieure de la patiente nécessite une approche globale englobant des composantes médicales, organisationnelles et socio-psychologiques :

- ***Bloc cardiologique*** : ablation par radiofréquence (RFA), surveillance Holter continue, contrôle de la fraction d'éjection ventriculaire gauche, évaluation du stade de l'insuffisance cardiaque et ajustement de la thérapie pharmacologique ;
- ***Bloc neurochirurgical et oncologique*** : surveillance postopératoire, imagerie IRM/CT pour la détection de potentielles récurrences, consultations avec des neurochirurgiens et des oncologues afin d'ajuster la stratégie de traitement ultérieure ;
- ***Coordination organisationnelle*** : assurer la collaboration entre l'Hôpital clinique régional de Kharkiv, l'Institut national de thérapie L. T. Malaïa, l'Association médicale territoriale de Lozova, l'Institut Zaïcev et l'Institut Grigoriev, incluant un accès 24 heures sur 24 aux soins médicaux et la surveillance des ressources ;
- ***Soutien socio-légal*** : évaluation du degré d'invalidité, détermination du statut approprié, fourniture d'une assistance psychologique, intégration d'activités créatives comme facteur de résilience psychologique ;
- ***Mesures de réhabilitation*** : surveillance de l'activité physique, réhabilitation cognitive, soutien aux initiatives créatives pour améliorer la qualité de vie, soins en établissement de convalescence et programmes de récupération.

Résultats

La patiente, née en 1975, a commencé à éprouver les premiers épisodes de perte subite de conscience accompagnée de convulsions dès son enfance. Il lui a été conseillé de limiter son activité physique et d'éviter tout effort d'intensité modérée. Les dossiers médicaux ambulatoires datant de 1990 indiquent la présence de troubles de santé chroniques, incluant des douleurs thoraciques récurrentes et un malaise général.

En 1991, le syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) a été diagnostiqué pour la première fois, un diagnostic reconfirmé en 1994. L'examen électrocardiographique (ECG) a révélé la présence d'ondes delta et un raccourcissement de l'intervalle PQ, indiquant l'existence d'une voie de conduction

atrioventriculaire supplémentaire (faisceau de Kent) et une prédisposition à la tachycardie atrioventriculaire réentrante antidromique (TAR).

Entre 2002 et 2005, en raison d'un diagnostic cardiologique insuffisant, la patiente a été hospitalisée à tort dans un établissement psychiatrique avec un diagnostic d'« épilepsie », où elle a reçu des médicaments potentiellement dangereux en présence du syndrome WPW.

Tout au long de la période d'observation, la patiente a présenté une tendance persistante aux syncopes et aux arythmies cardiaques, confirmée par les résultats de la surveillance ECG à long terme et l'observation continue par Holter.

Données cardiologiques :

- ***Fréquence des épisodes cardiaques*** : Jusqu'à 20–25 épisodes de perte subite de conscience par an pendant l'enfance, avec une diminution progressive de la fréquence au cours de l'adolescence sous contrôle pharmacologique (bêta-bloquants, adénosine triphosphate).
- ***Type d'arythmie*** : Syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), tachycardie atrioventriculaire réentrante paroxystique (TAR) et tachycardie sinusale périodique.
- ***Fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG)*** : En 2025, avant la chirurgie — 58 %; après l'intervention neurochirurgicale — 56 %, avec une fonction systolique du ventricule gauche préservée selon les données échocardiographiques.

Le statut cardiologique de la patiente indique un syndrome de WPW persistant avec des épisodes récurrents de tachycardie paroxystique, nécessitant une surveillance continue et la considération de l'ablation par cathéter comme mesure thérapeutique définitive.

Données neurologiques et neurochirurgicales :

- ***Résultats de l'IRM et de la CT*** : En 2025, une masse intracrânienne dans le lobe frontal droit avec des signes d'anaplasie a été détectée.
- ***État postopératoire*** : La patiente a subi une cranioplastie et une ablation micros chirurgicale d'une tumeur extracérébrale, ce qui a entraîné une stabilisation des fonctions neurologiques pendant la période postopératoire.
- ***Évaluation cognitive*** : Les évaluations pré- et postopératoires ont révélé des changements minimes dans l'attention et la rétention de la mémoire, indiquant un déficit cognitif postopératoire insignifiant.
- ***Impact des épisodes précoces d'hypoxie transitoire pendant les chirurgies de l'enfance*** : Ces épisodes peuvent avoir exercé des effets à long terme sur le

neurodéveloppement et méritent une enquête plus approfondie dans le cadre d'études prospectives.

L'intervention neurochirurgicale a permis l'ablation complète de la tumeur, la stabilisation du statut neurologique et la préservation des fonctions cognitives, ce qui revêt une importance décisive pour la planification de la gestion cardiologique ultérieure.

Données fonctionnelles et socio-psychologiques :

- ***Surveillance des paramètres vitaux*** : Pendant l'hospitalisation, des épisodes de dyspnée arythmique ont été enregistrés, principalement en soirée et pendant la nuit. Le personnel médical a réagi rapidement pendant les heures de travail ; cependant, la nuit et les week-ends, des délais d'assistance ont été observés dans le service de neurochirurgie de l'Hôpital clinique régional de Kharkiv.
- ***Soutien*** : Afin de réduire les risques pendant les périodes de supervision médicale limitée, la patiente a bénéficié d'un soutien social et psychologique continu de la part des membres de sa famille.
- ***Activité socio-psychologique*** : La patiente continue à s'adonner à des activités créatives, notamment la poésie, qui est publiée avec des traductions multilingues dans la série interactive « La Lumière de l'Âme ». Cette activité influence positivement la résilience psychologique et facilite l'adaptation sociale, soulignant l'importance de l'engagement culturel au sein d'une stratégie de traitement globale.

L'expression créative fonctionne comme un mécanisme compensatoire pour la résilience psychologique, tandis que la disponibilité limitée des ressources médicales pendant les heures nocturnes souligne la nécessité de maintenir des équipes multidisciplinaires pleinement opérationnelles.

Stratégie de gestion ultérieure :

1. ***Suivi cardiologique*** : Planification et mise en œuvre de l'ablation par radiofréquence (RFA) pour éliminer les épisodes de tachycardie paroxystique.
2. ***Suivi neurochirurgical et neurologique*** : Surveillance postopératoire avec évaluation cognitive et motrice, suivie d'une observation ambulatoire de la dynamique de la récupération.
3. ***Fourniture thérapeutique*** : Assurer l'accessibilité des services médicaux d'urgence 24 heures sur 24.
4. ***Institutions spécialisées d'État*** : Participation à des consultations cliniques multidisciplinaires, réalisation d'exams diagnostiques complémentaires et mise en œuvre d'une surveillance postopératoire.
5. ***Soutien socio-psychologique*** : Maintien de l'activité créative et intégration de la patiente dans des projets sociaux et culturels.

6. ***Suivi des équipements et du personnel*** : Garantir la pleine disponibilité et l'utilisation des oxymètres de pouls, des fauteuils roulants et des systèmes de surveillance de la pression artérielle lors des astreintes nocturnes et des week-ends.

Une approche multidisciplinaire complète, combinant la gestion cardiologique, neurochirurgicale et socio-psychologique, minimise le risque d'épisodes syncopaux récurrents et établit les conditions nécessaires pour la restauration de l'activité sociale et de l'indépendance fonctionnelle du patient.

Discussion

Caractéristiques générales du syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW)

Le syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) fait partie des troubles de la conduction cardiaque les plus fréquents, capables de provoquer des troubles graves du rythme, y compris des tachycardies paroxystiques, des fibrillations auriculaires et même un arrêt cardiaque [9].

Dans le cas clinique de la patiente Marianna Svitozar, la coexistence des symptômes cardiologiques et neurologiques a compliqué le diagnostic précis et a conduit à une identification erronée de "l'épilepsie". Il a été démontré que les arythmies associées au WPW peuvent imiter les crises épileptiques en raison de l'hypoxie cérébrale causée par les troubles du rythme, comme l'ont confirmé des études cliniques [10].

Combinaison des manifestations cardiologiques et neurologiques

Ce cas clinique illustre les défis diagnostiques découlant de la présence simultanée d'un trouble cardiaque rare, d'erreurs diagnostiques et d'une intégration insuffisante des services médicaux.

Le syndrome WPW est une anomalie congénitale de la conduction cardiaque caractérisée par la présence d'une voie atrioventriculaire supplémentaire (faisceau de Kent), entraînant une excitation ventriculaire prématurée et le développement de tachycardies paroxystiques.

Chez cette patiente, la coexistence du syndrome WPW avec des épisodes d'arrêt cardiaque transitoire pendant une appendicectomie durant l'adolescence a augmenté le risque d'hypoxie cérébrale et de manifestations neurologiques [11].

Les symptômes épileptiformes étaient très probablement secondaires, associés à l'hypoxie suite à un arrêt cardiaque peropératoire. L'absence de documentation complète complique la confirmation définitive de la cause des lésions cérébrales ; toutefois, les données cardiologiques disponibles soutiennent fortement cette hypothèse. Le syndrome WPW est fréquemment provoqué ou exacerbé par des interventions chirurgicales ou des situations de stress [12], soulignant l'importance capitale d'une surveillance cardiologique minutieuse, particulièrement pendant les périodes périopératoires.

Manifestations précoces et erreurs diagnostiques

L'analyse de l'historique médical de la patiente a révélé que les premiers épisodes de perte subite de conscience accompagnée de convulsions sont survenus dès son enfance.

L'absence de dossiers médicaux complets complique la reconstruction de ces événements, mais la documentation ambulatoire disponible indique des problèmes de santé chroniques, notamment des symptômes cardiaques, apparus avant l'âge de quinze ans. La détérioration subséquente après l'appendicectomie et un possible compromis circulatoire pendant l'anesthésie suggèrent une ischémie cérébrale transitoire qui aurait pu déclencher des manifestations épileptiformes post-hypoxiques, compliquant l'ensemble du tableau clinique.

Entre 2002 et 2005, la patiente a été erronément diagnostiquée d'«épilepsie» dans une institution psychiatrique. Cette erreur diagnostique a eu de graves conséquences cliniques et sociales : elle a reçu de la carbamazépine, un médicament susceptible d'exacerber le syndrome WPW en induisant des arythmies [13]. En outre, l'activité physique et les travaux modérés ont été restreints.

De tels cas soulignent l'importance cruciale d'intégrer les évaluations cardiologique, neurologique et psychiatrique chez les enfants et adolescents présentant des épisodes syncopaux [14].

Évolution clinique contemporaine

L'évolution clinique en 2025 démontre la nécessité d'une approche multidisciplinaire. Des épisodes prolongés de tachycardie paroxystique avec des fréquences cardiaques atteignant 250 battements par minute ont nécessité l'implication simultanée de cardiologues, électrophysiologistes et neurochirurgiens.

Une craniotomie crânoplastique avec ablation microchirurgicale d'un méningiome anaplasique a permis de contrôler le composant neurochirurgical, tandis que la planification ultérieure de l'ablation par radiofréquence cardiaque a assuré la stabilisation du profil cardiologique de la patiente [15].

Les données d'observation indiquent que la surveillance minimale (électrocardiographie, oxymétrie de pouls et contrôle de la pression artérielle) pendant les périodes pré- et postopératoires est cruciale pour la détection précoce des arythmies et la prévention de l'hypoxie cérébrale.

Les défis systémiques, tels que l'accès limité aux spécialistes pendant les heures du soir et une responsabilité fragmentée du personnel, soulignent l'urgence de la mise en place d'équipes multidisciplinaires pour garantir une gestion complète des patients souffrant de troubles cardio-neurologiques complexes [16].

Normes cliniques et cadre diagnostique

Les lignes directrices cliniques du Ministère de la Santé de l'Ukraine soulignent l'utilisation obligatoire de l'électrocardiographie chez les patients présentant une syncope et des arythmies.

Dans ce cas, une évaluation complète à l'aide du monitoring Holter, de l'échocardiographie et de l'EEG vidéo a permis de différencier les manifestations cardiaques et neurologiques. Des tests thermiques supplémentaires ont révélé une instabilité autonome, compliquant le tableau clinique et indiquant une dysrégulation du système nerveux autonome.

Dans environ 30 % des cas, le syndrome WPW peut imiter l'épilepsie ; par conséquent, l'ECG, le monitoring Holter et l'échocardiographie devraient devenir des procédures diagnostiques standard pour les épisodes syncopaux et de type crise.

Cette approche permet de prévenir la prescription inutile de médicaments antiepileptiques susceptibles d'aggraver l'évolution d'un trouble cardiaque sous-jacent.

Dimension socio-culturelle

Malgré les limitations imposées par son état médical, la patiente mène une vie créative active, produisant une œuvre poétique significative incluse dans des collections interactives multilingues de la série « La Lumière de l'Âme ».

Cela souligne le rôle de la créativité artistique comme mécanisme compensatoire pour la résilience psychologique et l'adaptation sociale, particulièrement pendant un traitement prolongé et un pronostic incertain [17].

Dimension légale et éthique

Étant donné la documentation limitée concernant les interventions chirurgicales et les épisodes d'arrêt cardiaque, une évaluation experte indépendante est conseillée pour confirmer les causes de la lésion cérébrale hypoxique et reconsidérer la classification de l'invalidité.

L'ablation de la tumeur, combinée à des syncopes cardiaques récurrentes, pourrait justifier la reclassification du statut d'invalidité de psychiatrique à neurocardiologique, nécessitant une approche multidisciplinaire pour assurer une évaluation médicale et légale objective de l'état de la patiente.

Conclusions

L'analyse du cas clinique d'une patiente présentant un syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) comorbide et une encéphalopathie post-hypoxique met en lumière plusieurs aspects clés d'une importance tant pratique que scientifique :

1. Aspect médical

- Un diagnostic précoce et précis du syndrome WPW est d'une importance capitale pour la prévention des arythmies et des complications graves.
- Une surveillance cardiologique continue (électrocardiographie, monitoring Holter 24 heures sur 24, et échocardiographie) chez les enfants et les

adolescents présentant des épisodes syncopaux permet une différenciation rapide entre les manifestations cardiaques et neurologiques, et aide à éviter l'administration de médicaments anticonvulsivants susceptibles d'aggraver le syndrome WPW.

- Les patients présentant une pathologie neurologique comorbide nécessitent une surveillance intégrée afin de prévenir l'hypoxie cérébrale transitoire pendant les épisodes arythmiques ou les états périopératoires.

2. Aspect organisationnel

- La prise en charge de ces patients nécessite l'établissement d'équipes multidisciplinaires incluant des cardiologues, électrophysiologistes, neurologues, neurochirurgiens et psychiatres.
- L'élargissement de l'accès aux services médicaux pendant les heures du soir, de nuit et les week-ends est d'une importance cruciale pour réduire le risque de complications.
- La mise en œuvre d'équipements de surveillance standardisés et la formation du personnel (oxymétrie de pouls, contrôle de la pression artérielle) améliorent à la fois la sécurité et l'efficacité de la prestation des soins médicaux.

3. Aspect socio-psychologique et culturel

- L'activité créative active de la patiente, incluant ses publications dans des collections multilingues de poésie interactive, sert de mécanisme compensatoire pour la résilience psychologique et contribue à une adaptation sociale réussie.
- L'engagement social et culturel améliore la qualité de vie des patients souffrant de maladies graves, réduit la tension psycho-émotionnelle et facilite de meilleurs résultats de réadaptation.

4. Aspect légal et éthique

- Une erreur de diagnostic et l'accès limité aux ressources médicales peuvent entraîner une détermination incorrecte du statut d'invalidité et une stigmatisation du patient.
- Une évaluation experte indépendante pourrait confirmer les causes de la lésion cérébrale hypoxique et établir un degré objectif d'invalidité, soutenant ainsi la reclassification appropriée du statut, passant de la catégorie psychiatrique à la catégorie neurocardiologique.
- Les épisodes fréquents de syncope cardiogène peuvent justifier la révision formelle du statut social et médical de la patiente dans le cadre d'une évaluation multidisciplinaire.

Signification clinique et pratique globale

- Ce cas clinique illustre la complexité de la gestion des patients présentant une combinaison comorbide du syndrome WPW et de l'encéphalopathie post-hypoxique.
- Il souligne la nécessité de mettre en œuvre des protocoles multidisciplinaires larges pour le diagnostic et le traitement des troubles syncopaux et de type crise.
- Une telle approche minimise le risque d'erreurs diagnostiques, assure un traitement rapide et réduit la probabilité de complications graves, ayant une pertinence pratique directe pour les cardiologues, neurologues et médecins généralistes.

Références

1. Ministère de la Santé de l'Ukraine. (2012, 3 août). Protocole clinique unifié « Troubles du rythme cardiaque chez les adultes » (Arrêté n° 597). Ministère de la Santé de l'Ukraine.
2. Havrushenko, L. V., & Mykhailovska, N. S. (2015). Diagnostic différentiel des crises épileptiques et des épisodes syncopaux chez les enfants. *Journal Médical Ukrainien*, 3(107), 68–72.
3. Kostiuk, O. H., & Todurov, B. M. (2019). Conséquences socio-légales des erreurs de diagnostic en pratique clinique : expertise médicale et sociale. *Santé Publique*, 8(3), 50–56.
4. Dziak, H. V., & Yavorska, O. O. (2017). États syncopaux cardiogènes : difficultés diagnostiques et approche multidisciplinaire. *Cardiologie. Cœur et Vaisseaux*, 1, 12–18.
5. Anderson, R. H., & Ho, S. Y. (2019). Syndrome de Wolff–Parkinson–White : Physiopathologie et aspects cliniques. *Heart*, 105, 123–130.
6. Ministère de la Santé de l'Ukraine. (2024). Lignes directrices cliniques pour la gestion des patients souffrant de troubles de la conduction cardiaque (Arrêté n° XXX). Ministère de la Santé de l'Ukraine.
7. Ministère de la Santé de l'Ukraine. (2021). Arrêté n° 234 « Sur la surveillance des patients à risque d'arythmie ». Ministère de la Santé de l'Ukraine.
8. Burns, K. V., & Freedman, R. (2023). Fraction d'éjection du ventricule gauche. Dans *StatPearls* [Internet]. Treasure Island, FL : StatPearls Publishing.
9. Bilous, P. O. (2019). Syndrome de Wolff–Parkinson–White : manifestations cliniques et défis diagnostiques. *Journal Ukrainien de Cardiologie*, 1, 23–29.
10. Cherenko, I. V. (2020). Diagnostic et traitement des arythmies chez les enfants : état actuel du problème. *Cardiologie et Médecine Interne*, 2(15), 45–52.
11. Biletsky, R. S. (2021). Lésion cérébrale hypoxique chez les enfants après un arrêt cardiaque : cas cliniques et aspects pronostiques. *Perspectives Médicales*, 26(4), 112–118.

12. Mironyuk, V. Yu. (2018). Syndrome WPW : évolution, complications et possibilités de correction. *Cardiologie du 21e Siècle*, 4(7), 66–72.
13. Semeniuk, L. I. (2020). Médicaments pour les arythmies de conduction : risques et précautions cliniques. *Pharmacologie et Médecine*, 5(12), 78–84.
14. Kozak, O. V. (2017). Syncope chez les enfants et les adolescents : aspects cardiologiques et neurologiques. *Médecine Pédiatrique*, 1(3), 19–27.
15. Palamarchuk, A. M. (2022). Diagnostic complet des états syncopaux : surveillance Holter, EEG et échocardiographie. *Neurologie Moderne*, 10(2), 51–59.
16. Ministère de la Santé de l'Ukraine. (2014, 24 février). Protocole clinique unifié pour la gestion des arythmies chez les enfants (Arrêté n° 152). Kyiv : Ministère de la Santé de l'Ukraine.
17. Hrynevych, T. O. (2023). Aspects juridiques et sociaux de la détermination de l'invalidité dans les maladies cardio-neurologiques. *Droit Médical de l'Ukraine*, 2(19), 33–41.

[DE_3]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko
master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable 334rganization
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. Наук, канд. Екон. Наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova
Doctor of Law, Ph. D. In Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. Мед. Наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy, National Academy of Medical Sciences of
Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Klinischer Fall eines Meningeoms bei WPW-Patient

Zusammenfassung

Das Wolff–Parkinson–White-Syndrom (WPW) ist eine angeborene Störung der kardialen Erregungsleitung, die durch das Vorhandensein eines zusätzlichen Erregungsleitungsweges (Kent-Bündel) verursacht wird und zu vorzeitiger ventrikulärer Erregung und der Entwicklung von paroxysmalen Tachyarrhythmien führt. In den meisten Fällen sind diese Zustände durch pharmakologische Therapie behandelbar, einschließlich der Verwendung von Adenosintriphosphat und β -Blockern [1]. Es ist wichtig zu beachten, dass bis zu 20–30% der zunächst als epileptische Anfälle klassifizierten Episoden tatsächlich eine kardiogene oder

andere nicht-epileptische Ursache haben können [2]. Diagnostische Fehler in der Anfangsphase können erhebliche klinische und soziale Konsequenzen nach sich ziehen, einschließlich der Einschränkung von Rechten, Stigmatisierung und falscher psychiatrischer Etikettierung [3].

Dieser Artikel stellt einen klinischen Fall einer Patientin (geb. 1975) mit einer langjährigen Krankengeschichte vor. 2005 wurde bei ihr zunächst Epilepsie diagnostiziert; jedoch bestätigte eine anschließende Überwachung das Vorliegen von generalisierten Anfällen nicht. Die Hauptmanifestationen umfassten plötzliche Episoden des Bewusstseinsverlusts, die durch Arrhythmien im Zusammenhang mit WPW-Syndrom, das Vorhandensein eines anaplastischen Meningeoms und chronische Herzinsuffizienz verursacht wurden. Diagnostische Herausforderungen wurden durch eine Vorgeschichte von vorübergehendem Kreislaufstillstand und zerebraler Hypoxie nach einer Blinddarmentfernung in der Kindheit verschärft, was vermutlich zu späteren neurologischen und tumorähnlichen Veränderungen beitrug und diesen Fall besonders wertvoll für eine multidisziplinäre Analyse macht.

Vom 22. Juli bis 8. August 2025 erhielt die Patientin eine Behandlung in der Neurochirurgischen Abteilung des Regionalkrankenhauses Charkiw (Leiter — Yu. O. Babalyan). Am 29. Juli 2025 wurde unter der Aufsicht des Neurochirurgen A. O. Pshenichny eine knochenplastische Kraniotomie mit mikroschirurgischer Entfernung des anaplastischen Meningeoms im rechten Frontallappen durchgeführt. Bestätigte Diagnosen waren: Raumfordernde Läsion des rechten Frontallappens, syncopale Zustände, WPW-Syndrom, paroxysmale Tachykardie und post-mikroschirurgischer Tumorentfernung.

Im August 2025 wurde ein Rezidiv schwerer Tachyarrhythmien beobachtet (Herzfrequenz bis zu 250 Schlägen pro Minute), was eine längere Notfallbehandlung und Krankenhausaufenthalt in der therapeutischen Abteilung der Lozova Territorialen Medizinischen Vereinigung erforderte. Die Behandlung wurde unter der Aufsicht des Arztes S. S. Slynko und des medizinischen Teams durchgeführt. Bestätigte Diagnosen waren WPW-Syndrom, paroxysmale Tachykardie, chronische Herzinsuffizienz Stadium B (ACC/AHA-Klassifikation) mit erhaltenem linken Ventrikel-Ejektionsfraktion und post-mikroschirurgischer Tumorentfernung.

Dieser klinische Fall unterstreicht die Notwendigkeit eines multidisziplinären Ansatzes, der Kardiologen, Neurologen, Neurochirurgen und medico-soziale Experten einbezieht, um Fehldiagnosen zu vermeiden, eine genaue Bestimmung der funktionellen und sozialen Behinderung zu gewährleisten [4] und die therapeutische Planung zu optimieren. Die sozio-kulturelle Dimension des Falls wird durch die fortgesetzte kreative Aktivität der Patientin veranschaulicht: Trotz des Fehlens einer höheren Ausbildung ist sie die Autorin zahlreicher poetischer Werke, die in der mehrsprachigen interaktiven Sammlung „Die ersten Akkorde des Lichts in der

Seele“ enthalten sind. Dies zeigt, dass kreative Betätigung als Faktor für psychologische und soziale Resilienz auch unter Bedingungen schwerer medizinischer Einschränkungen dienen kann.

Schlüsselwörter: Wolff–Parkinson–White-Syndrom, Fehldiagnose, Epilepsie, Arrhythmie, Meningeom, Gehirntumor, multidisziplinärer Ansatz, soziale Resilienz, Kreativität, klinischer Fall, medico-soziale Expertise.

Einleitung

Die Diagnose eines plötzlichen Bewusstseinsverlusts bei Kindern und Erwachsenen bleibt eine der größten Herausforderungen der modernen Medizin. Laut ukrainischen Beobachtungen haben bis zu 20–30% der anfänglich als epileptische Anfälle diagnostizierten Episoden tatsächlich eine kardiale, neurogene oder andere nicht-epileptische Ursache. Fehldiagnosen in der ersten Phase können erhebliche Risiken für die Patienten mit sich bringen, wie etwa Stigmatisierung und falsche psychiatrische Klassifikationen.

Das Wolff–Parkinson–White (WPW)-Syndrom ist eine häufige angeborene Herzleitungserkrankung, die durch einen zusätzlichen Leitungsweg (Kent-Bündel) zu vorzeitiger ventrikulärer Aktivierung und paroxysmalen Tachyarrhythmien führt, einschließlich der atrioventrikulären reentranten Tachykardie (AVRT) [5]. Die Prävalenz des WPW-Syndroms liegt bei etwa 1,5–2 Fällen pro 1000 Personen. Besonders bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen wird es häufig fälschlicherweise als Epilepsie diagnostiziert, was die Diagnose erschwert.

In der ukrainischen klinischen Praxis wurden viele Fehldiagnosen von Epilepsie bei Patienten mit WPW-Syndrom dokumentiert, was die Bedeutung eines interdisziplinären Ansatzes betont. Das Vorhandensein von Arrhythmien und plötzlichem Bewusstseinsverlust erfordert einen klaren diagnostischen Algorithmus, der Elektrokardiographie, 24-Stunden-Holter-Monitoring und ggf. elektrophysiologische Untersuchungen umfasst. Laut den aktuellen Protokollen des Gesundheitsministeriums der Ukraine ist eine minimale Überwachung (EKG, Pulsoximetrie, Blutdruckkontrolle) während der präoperativen und postoperativen Phasen entscheidend, um Arrhythmien und Hypoxie zu verhindern [6].

Besondere diagnostische Schwierigkeiten treten in Fällen mit einer frühen medizinischen Vorgeschichte auf. Beispielsweise kann es während einer Appendektomie in der Kindheit zu einer vorübergehenden Kreislaufstillstand (klinischer Tod) und einer Phase der zerebralen Hypoxie kommen, die die Entwicklung späterer neurologischer Veränderungen beeinflussen kann. Gleichzeitig gibt es keine klinischen Daten, die eine allgemeingültige Schlussfolgerung über eine kausale Beziehung zwischen dem WPW-Syndrom, der Appendektomie und Hirntumoren zulassen.

Systemische Probleme im Zugang zur medizinischen Versorgung erschweren häufig eine rechtzeitige Reaktion auf arrhythmische Episoden. Fälle, in denen Abend- oder Nachtbesuche unzureichende Aufmerksamkeit erhielten, verdeutlichen die unzureichende Integration medizinischer Dienstleistungen und betonen die Notwendigkeit interdisziplinärer Teams, die Kardiologen, Neurologen, Intensivmediziner und Fachleute für medizinisch-soziale Expertise umfassen.

Die soziokulturelle Dimension spielt ebenfalls eine erhebliche Rolle. Patienten mit schweren chronischen Erkrankungen sind häufig sozial isoliert und psychisch erschöpft. Die Aufrechterhaltung kreativer Tätigkeiten kann als kompensatorischer Mechanismus und als Resilienzfaktor dienen. Im vorliegenden Fall hat der Patient trotz schwerwiegender medizinischer Einschränkungen ein beträchtliches poetisches Werk produziert, das in die interaktive mehrsprachige Sammlung „Die ersten Akkorde“ aus der Serie „Licht in der Seele“ aufgenommen wurde. Dies zeigt, dass künstlerische Aktivitäten das psychologische Gleichgewicht unterstützen, die soziale Anpassung erleichtern und die positive Identitätsbildung fördern, insbesondere unter langen Behandlungen und unsicherer Prognose.

Dieser Fall hat nicht nur klinische Relevanz, sondern auch pädagogischen Wert, da er zeigt, wie ein interdisziplinäres Team Fehldiagnosen minimieren und schnell auf komplexe arrhythmische Ereignisse reagieren kann.

Die Analyse dieses klinischen Falls hat daher eine doppelte Bedeutung:

- Erstens hebt sie das Problem der diagnostischen Fehler und die Notwendigkeit eines interdisziplinären Ansatzes in der ukrainischen Medizinpraxis hervor;
- Zweitens zeigt sie die Rolle kreativer Tätigkeiten als Ressource für psychologische und soziale Resilienz.

Ziel dieses Artikels ist es, eine interdisziplinäre Analyse des klinischen Falls zu liefern, die Ursachen diagnostischer Fehler zu identifizieren, die sozialen und rechtlichen Konsequenzen zu bewerten und die Bedeutung kreativer Tätigkeiten als Resilienzfaktor zu demonstrieren.

Ziel der Forschung

Das Ziel dieser Studie ist es, eine umfassende Analyse eines klinischen Falls durchzuführen, der eine seltene kardiale Pathologie umfasst, gekennzeichnet durch eine verlängerte Periode von Fehldiagnosen und Fehlinterpretationen der Symptome. Besonderes Augenmerk wird auf die medizinischen, sozialen und psychologischen Konsequenzen gelegt, einschließlich der Stigmatisierung und voreingenommener Einstellungen gegenüber dem Patienten in familiären, schulischen und beruflichen Umfeldern.

Die Studie zielt darauf ab, zu demonstrieren, wie ein mehrstufiger interdisziplinärer Ansatz – der klinische Diagnostik, sozialhumanistische Analyse und kreative Reflexion kombiniert – zu einem tieferen Verständnis des klinischen

Falls und der Entwicklung neuer Reaktionsmodelle in der medizinischen Praxis beiträgt. Besonderer Wert wird auf die Bedeutung einer frühen und genauen Diagnose gelegt, um sekundäre psychosoziale Komplikationen zu verhindern, sowie auf die Notwendigkeit, medizinisches Wissen mit kulturellen und sozialen Ansätzen zur Gesundheit zu integrieren.

Materialien und Methoden

Der Patient stand während des Zeitraums von 1991 bis 2025 unter ärztlicher Aufsicht und Behandlung. Die Studie wurde auf der Grundlage einer retrospektiven Analyse von Patientenakten, Ergebnissen diagnostischer Untersuchungen, Schlussfolgerungen multidisziplinärer Konsilien und postoperativen Nachuntersuchungsdaten durchgeführt.

1. Bedingungen der Studie

Die Beobachtung des Patienten wurde in einer Reihe spezialisierter medizinischer Einrichtungen durchgeführt:

- N. K. Krupskaya Kinder- und Jugendinstitut (1991; derzeit — Kharkiv Regional Clinical Pediatric Center for Medical Rehabilitation) — Erstdiagnose des Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndroms;
- L. T. Malaya Nationales Institut für Therapie (1996, 2025) — Bestätigung der WPW-Diagnose und Neubewertung des Patientenstatus;
- Kharkiv Regionale Psychiatrische Klinik Nr. 1 (2002–2005) — Fehlinterpretation der Symptome und Diagnose „Epilepsie“;
- Kharkiv Regionale Klinik, kommunale Non-Profit-Einrichtung des Kharkiv Regionalrats (2025) — ambulante und stationäre Beobachtung, neurochirurgische Behandlung;
- V. T. Zaitsev Institut für Allgemeine und Notfallchirurgie (2025) — multidisziplinäres Konsilium, Planung der Radiofrequenzablation (RFA);
- S. P. Grigoriev Institut für medizinische Radiologie und Onkologie (2025) — zusätzliche Untersuchung und Behandlung von Gehirntumoren;
- Lozova Territorial Medical Association, kommunale Non-Profit-Einrichtung (2025) — Notfallversorgung während Episoden supraventrikulärer Arrhythmien.

2. Untersuchungsmethoden

Für eine umfassende Bewertung des Patientenstatus wurden folgende Methoden angewendet:

- **Kardiologische Methoden:** Ruhe- und Belastungs-ekg, 24-Stunden-Holter-Monitoring, Echokardiographie, Bewertung der linksventrikulären Ejektionsfraktion, Bestimmung des Stadiums der Herzinsuffizienz gemäß der ACC/AHA-Klassifikation;

- **Neurologische und neurochirurgische Methoden:** Magnetresonanztomographie (MRT), Computertomographie (CT), kognitive Tests, neurologische Untersuchung, postoperative Funktionsüberwachung;
- **Funktionelle Studien:** Blutdrucküberwachung, Pulsoximetrie, Analyse der EKG-Dynamik, Atemtests zur Beurteilung von Ventilationsstörungen;
- **Multidisziplinäre Konsultationen:** Einbeziehung von Herzchirurgen, Neurochirurgen, Neurologen, Arrhythmologen und Spezialisten für funktionelle Diagnostik;
- **Sozialrechtliche Analyse:** Überprüfung der Patientenakte durch die Medizinisch-Soziale Expertkommission (MSEC), Beurteilung der Auswirkungen der Fehldiagnose auf berufliche und soziale Rechte, Analyse der kulturellen und sozialen Aktivitäten als Faktor psychologischer Resilienz.

3. Chronologie der Beobachtung

- **1991:** Primäre Entdeckung des WPW-Syndroms im N. K. Krupskaya Kinder- und Jugendinstitut;
- **1996:** Bestätigung der WPW-Diagnose im L. T. Malaya Institut für Therapie;
- **2002–2005:** Fehlinterpretation der Symptome und Diagnose „Epilepsie“ in der psychiatrischen Klinik;
- **2025:** Umfassende Nachuntersuchung, kognitive Beurteilung, Überwachung von Synkopen und postoperativen Störungen; Durchführung einer Knochenplastischen Kraniotomie mit mikroskopischer Entfernung eines anaplastischen Meningeoms; postoperative Überwachung und Rehabilitation; Planung der Radiofrequenzablation (RFA).

4. Analyseprinzipien

Die Studie kombinierte retrospektive und prospektive Ansätze und integrierte klinische, sozialrechtliche und psychologische Daten. Besonderes Augenmerk wurde auf die minimale Überwachung (Elektrokardiographie, Pulsoximetrie und Blutdruckkontrolle) während der präoperativen und postoperativen Phasen gelegt, um Arrhythmien rechtzeitig zu erkennen und Hypoxie zu verhindern [7].

Für die quantitative Beurteilung der Herzfunktion in diesem klinischen Fall wurde die linksventrikuläre Ejektionsfraktion (EF) mit der Simpson-Methode berechnet, die eine zuverlässige Beurteilung der systolischen Funktion ermöglicht und sowohl in der klinischen Praxis als auch in der Forschung weit verbreitet ist. Dieser Ansatz ermöglichte die Beurteilung der dynamischen Veränderungen der ventrikulären Funktion im Zeitverlauf und verbesserte somit die Genauigkeit der Diagnose und der therapeutischen Planung.

Diese Formel ermöglicht es Klinikern und Forschern, die Effizienz des Herzzeitvolumens quantitativ zu bestimmen. EF-Werte unter 50% deuten im Allgemeinen auf eine systolische Dysfunktion hin, während eine erhaltene

Ejektionsfraktion, wie sie bei diesem Patienten beobachtet wurde, auf eine Herzinsuffizienz mit erhaltener Ejektionsfraktion (HFpEF) hindeutet, was spezifische klinische und therapeutische Implikationen hat.

Die mathematische Beurteilung erleichterte die Überwachung der Herzfunktion vor und nach der neurochirurgischen Intervention sowie während Episoden paroxysmaler Tachykardien im Zusammenhang mit dem Wolff-Parkinson-White-Syndrom (Formel 1).

$$EF(\%) = \frac{EDV - ESV}{EDV} \times 100 \quad (1)$$

Dabei gilt:

- EDV — linksventrikuläres enddiastolisches Volumen (mL),
- ESV — linksventrikuläres endsystolisches Volumen (mL).

Quelle: [8].

Die Analyse wurde durch eine mathematische Auswertung der Dynamik kardiologischer Parameter ergänzt, was es ermöglichte, die klinische Entwicklung nachzuvollziehen und diagnostische sowie therapeutische Entscheidungen zu begründen (Tabelle 1).

Tabelle 1. Beobachtung kardiologischer Parameter

Jahr der Beobachtung	HR (bpm)	BP (mmHg)	EKG	Bemerkungen
1991	110	110/70	WPW-Phänomen	N. K. Krupskaya Kinder- und Jugendinstitut
1996	112	115/72	WPW bestätigt	L. T. Malaya Nationales Institut für Therapie
2005	120	118/75	Sinustachykardie	Fehldiagnose „Epilepsie“
2025 (präoperativ)	115	120/78	WPW-Phänomen, paroxysmale Tachykardie	Kharkiv Regionale Klinik, Kharkiv Regionalrat
2025 (postoperativ)	115	115/70	Sinustachykardie, WPW	Post-neurochirurgische Überwachung; WPW-Nachsorge; katheterbasierte Radiofrequenzablation (RFA)

Quellen: Eigene Entwicklung

Die kontinuierliche Überwachung der Herzfrequenz, des Blutdrucks und der EKG-Parameter ermöglichte die Bewertung langfristiger Trends sowie akuter Episoden im Zusammenhang mit dem Wolff-Parkinson-White-Syndrom (WPW) und Arrhythmien. Die Integration historischer und aktueller Daten lieferte zudem

einen Kontext zur Bewertung der Auswirkungen neurochirurgischer Eingriffe und kardiologischer Verfahren wie der kathetergestützten Radiofrequenzablation (RFA).

5. Objektive und subjektive Daten während der Krankenhausaufenthalte

5.1. Subjektive Beschwerden und klinische Manifestationen

- Der Patient berichtete über wiederkehrende Episoden arrhythmischer Dyspnoe, die zu verschiedenen Tageszeiten auftraten — am Abend, in der Nacht, am Morgen und tagsüber. Es wurde eine ungleichmäßige Reaktionsbereitschaft des medizinischen Personals dokumentiert: Während der Arbeitszeiten wurde Unterstützung schnell bereitgestellt, während der Zugang zu qualifizierter Betreuung abends, nachts und an Wochenenden eingeschränkt war.
- Unter diesen Umständen erhielt der Patient kontinuierliche sozial-psychologische und physiologische Unterstützung von ihrem Ehepartner, der rund um die Uhr an ihrer Seite war. Diese Unterstützung hatte zusätzliche klinische Bedeutung, da sie das Risiko von Komplikationen während schwerer arrhythmischer Episoden verringerte und zur Stabilisierung des Zustands bis zur Bereitstellung professioneller medizinischer Hilfe beitrug.
- Bei der Kontaktaufnahme mit dem Personal wurde oft die Phrase „Das ist nicht unsere Fachrichtung“ vermerkt, was die Notwendigkeit zusätzlicher Überwachung und eines interdisziplinären Ansatzes betont.

5.2. Materielle Ausstattung und Geräte

- Zur Verbesserung der Qualität der medizinischen Versorgung stellte der Fonds der Neurochirurgischen Abteilung des Kharkiver Regionalen Klinischen Krankenhauses Rollstühle und ein Pulsoximeter zur Überwachung der physiologischen Parameter der Patienten zur Verfügung. Während der ersten Nutzungstage war die Effektivität aufgrund der organisatorischen Gegebenheiten der Abteilung und Mängeln in den internen Abläufen begrenzt.
- Für die Therapeutische Abteilung der Lozova Territorial Medical Association (KNP „Lozova Territorial Medical Association“) lieferte der Fonds Katheter und weiteres medizinisches Material, was die Notfallversorgung verbesserte und eine schnelle Reaktion auf schwere arrhythmische Episoden ermöglichte.

5.3. Objektive Beobachtungen während des Krankenhausaufenthalts

- Nach der Operation wurde der Patient aufgrund laufender Reparaturarbeiten nicht auf die Intensivstation (ICU) der Neurochirurgischen Abteilung des Kharkiver Regionalen Klinischen Krankenhauses verlegt. ICU-Patienten wurden vorübergehend in Korridoren untergebracht, daher wurde der Patient in einem allgemeinen Krankenhauszimmer bis zur Entlassung untergebracht.
- Der Aufenthalt im allgemeinen Krankenhauszimmer war durch Lärm von Reparaturarbeiten sowie akustische Störungen aus anderen Krankenhausbereichen (einschließlich Explosionen oder Schlägen) erschwert,

was zusätzlichen psychophysiologischen Stress verursachte und den Zustand des Patienten negativ beeinflusste.

- Mehrere Fälle wurden dokumentiert, in denen die Leichname verstorbener Patienten durch die Korridore der Neurochirurgischen Abteilung transportiert wurden, was echte Risiken für die Patientensicherheit und das Leben aufzeigt.
- Ein Mangel an umfassender Dokumentation bezüglich der Episoden schwerer Dyspnoe und Bewusstseinsverlust sowie unvollständige immunhistochemische Daten erschwerten eine gründliche Beurteilung des Patientenstatus und die postoperative Überwachung.
- Trotz dieser Einschränkungen vermerkte das Personal Phasen relativer Stabilisierung des Blutdrucks und der Herzfrequenz aufgrund unterstützender Maßnahmen und kontinuierlicher familiärer Betreuung.

5.4. Weitere Behandlung und organisatorische Aspekte

Die Behandlung des Patienten erfordert einen ganzheitlichen Ansatz, der medizinische, organisatorische und soziale Aspekte berücksichtigt.

- **Kardiologischer Block:** Radiofrequenzablation (RFA), kontinuierliches Holter-Monitoring, Kontrolle der linksventrikulären Ejektionsfraktion, Beurteilung des Stadiums der Herzinsuffizienz und Anpassung der pharmakologischen Therapie;
- **Neurochirurgischer und onkologischer Block:** Postoperative Überwachung, MRI/CT-Bildgebung zur Erkennung von Rezidiven, Konsultationen mit Neurochirurgen und Onkologen zur Anpassung der Behandlungsstrategie.
- **Organisatorische Koordination:** Sicherstellung der Zusammenarbeit zwischen KNP Kharkiver Regionales Klinisches Krankenhaus, L. T. Malaya Nationales Institut für Therapie, Lozova Territorial Medical Association, Zaicev Institut und Grigoriev Institut, einschließlich 24-Stunden-Zugang zur medizinischen Versorgung und Überwachung der Ressourcen;
- **Sozialrechtliche Unterstützung:** Beurteilung des Behinderungsgrades, Festlegung des geeigneten Status, Bereitstellung psychologischer Hilfe, Integration kreativer Aktivitäten als Faktor psychologischer Resilienz;
- **Rehabilitationsmaßnahmen:** Überwachung der körperlichen Aktivität, kognitive Rehabilitation, Förderung kreativer Initiativen zur Verbesserung der Lebensqualität, Erholungsbehandlungen und Rehabilitationsprogramme.

Ergebnisse

Die Patientin, geboren 1975, erlebte erstmals Episoden plötzlichen Bewusstseinsverlusts, begleitet von Krampfanfällen, während der Kindheit. Ihr wurde geraten, körperliche Aktivitäten zu begrenzen und mittlere Anstrengung zu

vermeiden. Aus den ambulanten Krankenakten von 1990 geht hervor, dass sie an chronischen gesundheitlichen Störungen litt, einschließlich wiederkehrender Brustschmerzen und allgemeiner Unwohlsein.

1991 wurde bei der Patientin erstmals das Wolff-Parkinson-White-Syndrom (WPW) diagnostiziert, 1994 bestätigt. Eine EKG-Untersuchung zeigte Delta-Wellen und ein verkürztes PQ-Intervall, was auf einen zusätzlichen atrioventrikulären Leitungsweg (Kent-Bündel) und eine Prädisposition für antidrome AVRT hinwies.

Zwischen 2002 und 2005 wurde die Patientin aufgrund unzureichender kardiologischer Diagnostik fälschlicherweise mit einer Diagnose „Epilepsie“ in einer psychiatrischen Einrichtung hospitalisiert, wo ihr Medikamente verordnet wurden, die im Vorliegen des WPW-Syndroms potenziell gefährlich sein können.

Über den gesamten Beobachtungszeitraum zeigte die Patientin eine anhaltende Neigung zu synkopalen Zuständen und Herzrhythmusstörungen, was durch die Ergebnisse der Langzeit-EKG-Überwachung und kontinuierliche Holter-Beobachtungen bestätigt wurde.

Kardiologische Daten:

- **Häufigkeit der kardialen Episoden:** Bis zu 20–25 Episoden plötzlichen Bewusstseinsverlusts pro Jahr während der Kindheit, mit einer allmählichen Häufigkeitsreduktion während der Adoleszenz unter pharmakologischer Kontrolle (β -Blocker, Adenosintriphosphat).
- **Art der Arrhythmie:** Wolff-Parkinson-White-Syndrom (WPW), paroxysmale AVRT und periodische Sinustachykardie.
- **Linksventrikuläre Ejektionsfraktion (LVEF):** Im Jahr 2025, vor der Operation — 58%; nach der neurochirurgischen Intervention — 56%, mit erhaltener systolischer Funktion des linken Ventrikels laut echokardiographischen Daten.

Der kardiologische Status der Patientin weist auf ein persistierendes WPW-Syndrom mit wiederkehrenden Episoden paroxysmaler Tachykardie hin, was eine kontinuierliche Überwachung und die Erwägung einer Katheterablation als definitive therapeutische Maßnahme erforderlich macht.

Neurologische und neurochirurgische Daten:

- **MRT- und CT-Befunde:** Im Jahr 2025 wurde eine intrakranielle Masse im rechten Frontallappen mit Anzeichen einer Anaplasie festgestellt.
- **Postoperative Befunde:** Die Patientin wurde einer Kranioplastik und mikrosurgischen Entfernung eines extrazerebralen Tumors unterzogen, was zu einer Stabilisierung der neurologischen Funktionen führte.
- **Kognitive Bewertung:** Prä- und postoperative Bewertungen zeigten minimale Veränderungen in der Aufmerksamkeit und Gedächtnisbehaltung, was auf ein geringfügiges postoperatives kognitives Defizit hinweist.

- **Frühe Episoden transitorischer Hypoxie während Kindheitseingriffen:** könnten langfristige Auswirkungen auf die Neuroentwicklung gehabt haben und erfordern weitere prospektive Studien.

Die neurochirurgische Intervention ermöglichte die vollständige Entfernung des Tumors, die Stabilisierung des neurologischen Status und die Erhaltung der kognitiven Funktionen, was für die Planung weiterer kardiologischer Behandlungsstrategien von entscheidender Bedeutung ist.

Funktionale und sozial-psychologische Daten:

- **Überwachung der Vitalparameter:** Während des Krankenhausaufenthalts wurden Episoden arrhythmischer Dyspnoe aufgezeichnet, vor allem in den Abend- und Nachtstunden. Das medizinische Personal reagierte während der Arbeitszeiten umgehend; jedoch wurden in der Nacht und an Wochenenden Verzögerungen bei der Hilfeleistung in der neurochirurgischen Abteilung des Regionalen Klinischen Krankenhauses Charkiw beobachtet.
- **Unterstützung:** Zur Verringerung von Risiken während Perioden begrenzter medizinischer Überwachung erhielt die Patientin kontinuierliche soziale und psychologische Unterstützung von Familienmitgliedern.
- **Sozio-psychologische Aktivität:** Die Patientin setzt ihre kreative Arbeit fort, insbesondere das Schreiben von Gedichten, die in der interaktiven Serie „Das Licht der Seele“ mit mehrsprachigen Übersetzungen veröffentlicht werden. Diese Tätigkeit hat einen positiven Einfluss auf die psychologische Resilienz und fördert die soziale Anpassung, wobei sie die Bedeutung der kulturellen Beteiligung innerhalb einer umfassenden Behandlungsstrategie betont.

Kreativer Ausdruck fungiert als kompensatorischer Mechanismus für die psychologische Resilienz, während die begrenzte Verfügbarkeit medizinischer Ressourcen während der Nachtstunden die Notwendigkeit unterstreicht, voll funktionsfähige multidisziplinäre Teams aufrechtzuerhalten.

Strategie für das weitere Management:

1. **Kardiologische Nachsorge:** Planung und Durchführung einer Radiofrequenzablation (RFA) zur Eliminierung der Episoden paroxysmaler Tachykardien.
2. **Neurochirurgische und neurologische Nachsorge:** Postoperative Überwachung mit kognitiver und motorischer Beurteilung, gefolgt von ambulanter Beobachtung der Erholungsdynamik.
3. **Therapeutische Versorgung:** Sicherstellung der rund-um-die-Uhr Verfügbarkeit von Notfalldiensten.

4. ***Staatliche spezialisierte Einrichtungen:*** Teilnahme an multidisziplinären klinischen Konsultationen, Durchführung zusätzlicher diagnostischer Untersuchungen und Implementierung der postoperativen Überwachung.
5. ***Sozio-psychologische Unterstützung:*** Aufrechterhaltung der kreativen Tätigkeit und Integration der Patientin in soziale und kulturelle Projekte.
6. ***Überwachung der Ausrüstung und des Personals:*** Sicherstellung der vollen Einsatzbereitschaft und Nutzung von Pulsoximetern, Rollstühlen und Blutdrucküberwachungssystemen während Nachtschichten und am Wochenende.

Ein umfassender multidisziplinärer Ansatz, der kardiologische, neurochirurgische und sozio-psychologische Maßnahmen kombiniert, minimiert das Risiko wiederkehrender synkopaler Episoden und schafft die notwendigen Bedingungen für die Wiederherstellung der sozialen Aktivität und funktionellen Unabhängigkeit der Patientin.

Diskussion

Allgemeine Merkmale des Wolff-Parkinson-White-Syndroms (WPW)

Das Wolff-Parkinson-White-Syndrom (WPW) gehört zu den häufigsten kardialen Leitungsstörungen, die schwere Rhythmusstörungen wie paroxysmale Tachykardien, Vorhofflimmern und sogar Herzstillstand verursachen können [9].

Im klinischen Fall der Patientin Marianna Svitozar erschwerte das gleichzeitige Vorliegen kardiologischer und neurologischer Symptome eine genaue Diagnose und führte zur fehlerhaften Identifikation der „Epilepsie“. Es wurde gezeigt, dass Arrhythmien, die mit WPW assoziiert sind, epileptische Anfälle nachahmen können, aufgrund von zerebraler Hypoxie, die durch Rhythmusstörungen verursacht wird, wie durch klinische Studien bestätigt [10].

Kombination von kardiologischen und neurologischen Manifestationen

Dieser klinische Fall verdeutlicht die diagnostischen Herausforderungen, die sich aus dem gleichzeitigen Vorliegen einer seltenen kardialen Erkrankung, diagnostischen Fehlern und einer unzureichenden Integration der medizinischen Versorgung ergeben.

Das WPW-Syndrom ist eine angeborene kardiale Leitungsstörung, die durch das Vorhandensein eines zusätzlichen atrioventrikulären Leitungswegs (Kent-Bündel) gekennzeichnet ist, was zu einer vorzeitigen ventrikulären Erregung und der Entwicklung paroxysmaler Tachykardien führt.

Bei dieser Patientin erhöhte das gleichzeitige Vorliegen des WPW-Syndroms mit Episoden eines vorübergehenden Herzstillstands während der Appendektomie in der Jugend das Risiko von zerebraler Hypoxie und neurologischen Manifestationen [11].

Die epileptiformen Symptome waren höchstwahrscheinlich sekundär und standen im Zusammenhang mit der Hypoxie nach dem klinischen Tod aufgrund eines intraoperativen Herzstillstands. Das Fehlen vollständiger Dokumentationen erschwert die endgültige Bestätigung der Ursache der zerebralen Schädigung; jedoch unterstützen die verfügbaren kardiologischen Daten diese Hypothese. Das WPW-Syndrom wird häufig durch chirurgische Eingriffe oder Stresszustände provoziert oder verschärft [12], was die entscheidende Bedeutung einer sorgfältigen kardiologischen Überwachung, insbesondere während perioperativer Phasen, unterstreicht.

Frühe Manifestationen und diagnostische Fehler

Die Analyse der medizinischen Vorgeschichte der Patientin ergab, dass die ersten Episoden des plötzlichen Bewusstseinsverlusts, begleitet von Krampfanfällen, in der frühen Kindheit auftraten.

Das Fehlen vollständiger medizinischer Unterlagen erschwert die Rekonstruktion dieser Ereignisse, aber die verfügbaren ambulanten Unterlagen zeigen chronische Gesundheitsprobleme, einschließlich kardiologischer Symptome, die vor dem fünfzehnten Lebensjahr auftraten. Eine Verschlechterung nach der Appendektomie und möglicherweise ein Kreislaufkompromiss während der Anästhesie deuten auf eine vorübergehende zerebrale Ischämie hin, die posthypoxische epileptiforme Manifestationen ausgelöst haben könnte, was das Gesamtbild weiter verkomplizierte.

Zwischen 2002 und 2005 wurde bei der Patientin fälschlicherweise „Epilepsie“ in einer psychiatrischen Einrichtung diagnostiziert. Dieser diagnostische Fehler hatte schwerwiegende klinische und soziale Auswirkungen: Es wurde ihr Carbamazepin verschrieben, ein Medikament, das das WPW-Syndrom durch die Induktion von Arrhythmien verschärfen kann [13]. Zudem wurde körperliche Aktivität und moderate Arbeit eingeschränkt.

Solche Fälle betonen die entscheidende Bedeutung der Integration kardiologischer, neurologischer und psychiatrischer Bewertungen bei Kindern und Jugendlichen, die mit synkopalen Episoden vorstellig werden [14].

Aktueller klinischer Verlauf

Der klinische Verlauf im Jahr 2025 zeigt die Notwendigkeit eines multidisziplinären Ansatzes. Prolongierte Episoden paroxysmaler Tachykardien mit Herzfrequenzen von bis zu 250 Schlägen pro Minute erforderten das gleichzeitige Eingreifen von Kardiologen, Elektrophysiologen und Neurochirurgen.

Eine kranioplastische Kraniotomie mit mikrosurgischer Entfernung eines anaplastischen Meningeoms ermöglichte die Kontrolle des neurochirurgischen Aspekts, während die anschließende Planung einer kardiologischen

Radiofrequenzablation die Stabilisierung des kardiologischen Profils der Patientin sicherstellte [15].

Beobachtungsdaten zeigen, dass eine minimale Überwachung (EKG, Pulsoxymetrie und Blutdruckkontrolle) in den prä- und postoperativen Phasen entscheidend für die rechtzeitige Erkennung von Arrhythmien und die Prävention von zerebraler Hypoxie ist.

Systemische Herausforderungen, wie der begrenzte Zugang zu Fachärzten während der Abendstunden und fragmentierte Personalverantwortlichkeiten, unterstreichen die dringende Notwendigkeit, multidisziplinäre Teams zu etablieren, um eine umfassende Behandlung von Patienten mit komplexen kardiologisch-neurologischen Störungen sicherzustellen [16].

Klinische Standards und diagnostischer Rahmen

Die klinischen Leitlinien des Ministeriums für Gesundheit der Ukraine betonen die obligatorische Verwendung von Elektrokardiographie bei Patienten, die mit Synkopen und Arrhythmien vorstellig werden.

In diesem Fall ermöglichte eine umfassende Bewertung unter Verwendung von Holter-Monitoring, Echokardiographie und Video-EEG eine Differenzierung zwischen kardialen und neurologischen Manifestationen. Zusätzliche thermische Tests zeigten eine autonome Instabilität, die das klinische Bild weiter verkomplizierte und auf eine Dysregulation des autonomen Nervensystems hinwies.

In etwa 30 % der Fälle kann das WPW-Syndrom Epilepsie nachahmen; daher sollten EKG, Holter-Monitoring und Echokardiographie Standarddiagnoseverfahren für synkopale und krampfartige Episoden werden.

Ein solcher Ansatz verhindert die unnötige Verschreibung von Antiepileptika, die den Verlauf einer zugrunde liegenden kardialen Störung verschlechtern können.

Soziokulturelle Dimension

Trotz der durch ihre Erkrankung bedingten Einschränkungen führt die Patientin ein aktives kreatives Leben und produziert eine bedeutende Sammlung von Gedichten, die in mehrsprachigen interaktiven Sammlungen der Serie „Das Licht der Seele“ veröffentlicht werden.

Dies unterstreicht die Rolle der künstlerischen Kreativität als kompensatorischen Mechanismus für psychologische Resilienz und soziale Anpassung, insbesondere während einer langen Behandlung und ungewissen Prognose [17].

Rechtliche und ethische Dimension

Angesichts der begrenzten Dokumentation hinsichtlich chirurgischer Eingriffe und Episoden von Herzstillstand wird eine unabhängige Expertenbewertung empfohlen, um die Ursachen der hypoxischen Hirnschädigung zu bestätigen und die Klassifikation der Behinderung zu überdenken.

Die Tumorentfernung, kombiniert mit wiederkehrender kardiogener Synkope, könnte eine Umklassifizierung des Behinderungsstatus von psychiatrisch zu neurokardiologisch rechtfertigen, was einen multidisziplinären Ansatz erfordert, um eine objektive medizinische und rechtliche Bewertung des Zustands der Patientin zu gewährleisten.

Schlussfolgerungen

Die Analyse des klinischen Falls einer Patientin mit komorbidem Wolff-Parkinson-White-Syndrom (WPW) und posthypoxischer Enzephalopathie hebt mehrere Schlüsselaspekte hervor, die sowohl praktischer als auch wissenschaftlicher Bedeutung sind:

1. Medizinischer Aspekt

- Die frühzeitige und genaue Diagnose des WPW-Syndroms ist von entscheidender Bedeutung zur Prävention von Arrhythmien und schweren Komplikationen.
- Eine kontinuierliche kardiologische Überwachung (Elektrokardiographie, 24-Stunden-Holter-Monitoring und Echokardiographie) bei Kindern und Jugendlichen mit synkopalen Zuständen ermöglicht eine rechtzeitige Differenzierung zwischen kardialen und neurologischen Manifestationen und hilft, die Gabe von Antikonvulsiva zu vermeiden, die den Verlauf des WPW-Syndroms verschlechtern könnten.
- Patienten mit komorbiden neurologischen Pathologien erfordern integrierte Überwachung, um transiente zerebrale Hypoxie während arrhythmischer Episoden oder perioperativer Zustände vorzubeugen.

2. Organisatorischer Aspekt

- Die Behandlung solcher Patienten erfordert die Einrichtung multidisziplinärer Teams, die Kardiologen, Elektrophysiologen, Neurologen, Neurochirurgen und Psychiater umfassen.
- Der erweiterte Zugang zu medizinischen Dienstleistungen während der Abend-, Nacht- und Wochenendstunden ist entscheidend für die Verringerung des Komplikationsrisikos.
- Die Implementierung standardisierter Überwachungsausrüstung und Schulungen für das Personal (Pulsoxymetrie, Blutdruckkontrolle) verbessert sowohl die Sicherheit als auch die Effektivität der medizinischen Versorgung.

3. Sozio-psychologischer und kultureller Aspekt

- Die aktive kreative Tätigkeit der Patientin, einschließlich Veröffentlichungen in mehrsprachigen interaktiven Gedichtsammlungen, dient als kompensatorischer Mechanismus für die psychologische Resilienz und trägt zur erfolgreichen sozialen Anpassung bei.

- Soziale und kulturelle Beteiligung verbessert die Lebensqualität von Patienten mit schweren Erkrankungen, reduziert psychoemotionale Spannungen und fördert bessere Rehabilitationsergebnisse.

4. Rechtlicher und ethischer Aspekt

- Fehldiagnosen und begrenzter Zugang zu medizinischen Ressourcen können zu einer falschen Bestimmung des Behinderungsstatus und zur Stigmatisierung der Patientin führen.
- Eine unabhängige Expertenbewertung könnte die Ursachen der hypoxischen Hirnschädigung bestätigen und den objektiven Grad der Behinderung festlegen, was eine entsprechende Umklassifizierung von der psychiatrischen in die neurokardiologische Kategorie unterstützt.
- Häufige Episoden kardiogener Synkope könnten die formelle Überprüfung des sozialen und medizinischen Status der Patientin im Rahmen einer multidisziplinären Bewertung rechtfertigen.

Gesamte klinische und praktische Bedeutung

- Dieser klinische Fall veranschaulicht die Komplexität der Behandlung von Patienten mit einer komorbiden Kombination aus WPW-Syndrom und posthypoxischer Enzephalopathie.
- Er unterstreicht die Notwendigkeit, umfassende multidisziplinäre Protokolle für die Diagnose und Behandlung von synkopalen und krampfartigen Störungen umzusetzen.
- Ein solcher Ansatz minimiert das Risiko diagnostischer Fehler, gewährleistet eine rechtzeitige Therapie und reduziert die Wahrscheinlichkeit schwerwiegender Komplikationen, was für Kardiologen, Neurologen und Allgemeinmediziner direkt praktische Relevanz hat.

Literaturverzeichnis

1. Ministerium für Gesundheit der Ukraine. (2012, 3. August). Einheitliches klinisches Protokoll „Kardiologische Rhythmusstörungen bei Erwachsenen“ (Verordnung Nr. 597). Ministerium für Gesundheit der Ukraine.
2. Havrushenko, L. V., & Mykhailovska, N. S. (2015). Differenzialdiagnose von epileptischen Anfällen und synkopalen Episoden bei Kindern. Ukrainische Medizinische Zeitschrift, 3(107), 68–72.
3. Kostiuk, O. H., & Todurov, B. M. (2019). Sozio-rechtliche Folgen von Fehldiagnosen in der klinischen Praxis: Medizinische und soziale Expertise. Öffentliche Gesundheit, 8(3), 50–56.
4. Dziak, H. V., & Yavorska, O. O. (2017). Kardiogene synkopale Zustände: diagnostische Schwierigkeiten und ein multidisziplinärer Ansatz. Kardiologie. Herz und Gefäße, 1, 12–18.

5. Anderson, R. H., & Ho, S. Y. (2019). Wolff-Parkinson-White-Syndrom: Pathophysiologie und klinische Aspekte. *Herz*, 105, 123–130.
6. Ministerium für Gesundheit der Ukraine. (2024). Klinische Leitlinien für das Management von Patienten mit kardialen Leitungsstörungen (Verordnung Nr. XXX). Ministerium für Gesundheit der Ukraine.
7. Ministerium für Gesundheit der Ukraine. (2021). Verordnung Nr. 234 „Über die Überwachung von Patienten mit Arrhythmierisiko“. Ministerium für Gesundheit der Ukraine.
8. Burns, K. V., & Freedman, R. (2023). Linksventrikuläre Ejektionsfraktion. In StatPearls [Internet]. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
9. Bilous, P. O. (2019). Wolff-Parkinson-White-Syndrom: klinische Manifestationen und diagnostische Herausforderungen. *Ukrainische Zeitschrift für Kardiologie*, 1, 23–29.
10. Cherenko, I. V. (2020). Diagnose und Behandlung von Arrhythmien bei Kindern: aktueller Stand des Problems. *Kardiologie und Innere Medizin*, 2(15), 45–52.
11. Biletsky, R. S. (2021). Hypoxische Hirnschädigung bei Kindern nach Herzstillstand: klinische Fälle und prognostische Aspekte. *Medizinische Perspektiven*, 26(4), 112–118.
12. Mironyuk, V. Yu. (2018). WPW-Syndrom: Verlauf, Komplikationen und Korrekturmöglichkeiten. *Kardiologie des 21. Jahrhunderts*, 4(7), 66–72.
13. Semeniuk, L. I. (2020). Medikamente bei Leitungsarrhythmien: Risiken und klinische Vorsichtsmaßnahmen. *Pharmakologie und Medizin*, 5(12), 78–84.
14. Kozak, O. V. (2017). Synkope bei Kindern und Jugendlichen: kardiologische und neurologische Aspekte. *Pädiatrische Medizin*, 1(3), 19–27.
15. Palamarchuk, A. M. (2022). Umfassende Diagnostik von synkopalen Zuständen: Holter-Monitoring, EEG und Echokardiographie. *Moderne Neurologie*, 10(2), 51–59.
16. Ministerium für Gesundheit der Ukraine. (2014, 24. Februar). Einheitliches klinisches Protokoll zur Behandlung von Arrhythmien bei Kindern (Verordnung Nr. 152). Kiew: Ministerium für Gesundheit der Ukraine.
17. Hrynevych, T. O. (2023). Rechtliche und soziale Aspekte der Behinderungsfeststellung bei kardiologisch-neurologischen Erkrankungen. *Medizinrecht der Ukraine*, 2(19), 33–41.

[PT_3]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko
master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable 351rganization
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. Наук, канд. Екон. Наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova
Doctor of Law, Ph. D. In Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. Мед. Наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy, National Academy of Medical Sciences of
Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Caso clínico de meningioma em paciente com WPW

Resumo

O síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) é uma distúrbio congênito da condução cardíaca causado pela presença de uma via de condução acessória (feixe de Kent), levando à excitação ventricular precoce e ao desenvolvimento de taquiarritmias paroxísticas. Na maioria dos casos, essas condições são tratáveis com terapia farmacológica, incluindo o uso de trifosfato de adenosina e β -bloqueadores [1]. É importante observar que até 20–30% dos episódios inicialmente classificados como convulsões epiléticas podem, na realidade, ter origem cardiogênica ou outra origem não epilética [2]. Erros diagnósticos na fase inicial podem resultar em

consequências clínicas e sociais significativas, incluindo restrição de direitos, estigmatização e rotulagem psiquiátrica errônea [3].

Este artigo apresenta o caso clínico de uma paciente do sexo feminino (nascida em 1975) com um histórico médico de longa data. Em 2005, ela foi inicialmente diagnosticada com epilepsia; no entanto, o monitoramento subsequente não confirmou a presença de convulsões generalizadas. As manifestações primárias incluíam episódios súbitos de perda de consciência causados por arritmias associadas ao WPW, presença de meningioma anaplásico e insuficiência cardíaca crônica. Os desafios diagnósticos foram agravados por um histórico de parada circulatória transitória e hipóxia cerebral após uma apendicectomia na infância, o que provavelmente contribuiu para mudanças neurológicas e tumorais subsequentes, tornando este caso particularmente valioso para análise multidisciplinar.

De 22 de julho a 8 de agosto de 2025, a paciente recebeu tratamento no Departamento de Neurocirurgia do Hospital Clínico Regional de Kharkiv (Chefe — Yu. O. Babalyan). Em 29 de julho de 2025, sob a supervisão do neurocirurgião A. O. Pshenichny, foi realizada uma craniotomia com plastia óssea e ressecção microsúrgica do meningioma anaplásico na região frontal direita. Os diagnósticos confirmados incluíram: lesão ocupante de espaço no lobo frontal direito, estados sincopais, síndrome WPW, taquicardia paroxística e status pós-ressecção microsúrgica de tumor.

Em agosto de 2025, observou-se uma recorrência de taquiarritmia grave (frequência cardíaca até 250 batimentos por minuto), exigindo cuidados emergenciais prolongados e internação no departamento terapêutico da Associação Médica Territorial de Lozova. O tratamento foi conduzido sob a supervisão do médico S. S. Slynko e da equipe médica. Os diagnósticos confirmados incluíram síndrome WPW, taquicardia paroxística, insuficiência cardíaca crônica estágio B (classificação ACC/AHA) com fração de ejeção ventricular esquerda preservada e status pós-ressecção microsúrgica de tumor.

Este caso clínico sublinha a necessidade de uma abordagem multidisciplinar envolvendo cardiologistas, neurologistas, neurocirurgiões e especialistas médico-sociais para prevenir diagnósticos errôneos, garantir a determinação precisa da deficiência funcional e social [4], e otimizar o planejamento terapêutico. A dimensão sociocultural do caso é ilustrada pela atividade criativa contínua da paciente: apesar da ausência de ensino superior, ela é autora de várias obras poéticas incluídas na coleção interativa multilíngue “Os Primeiros Acordes de Luz na Alma”. Isso demonstra que o engajamento criativo pode servir como um fator de resiliência psicológica e social, mesmo em condições de limitações médicas severas.

Palavras-chave: Síndrome de Wolff–Parkinson–White, erro diagnóstico, epilepsia, arritmia, meningioma, tumor cerebral, abordagem multidisciplinar, resiliência social, criatividade, caso clínico, expertise médico-social.

Introdução

O diagnóstico da perda súbita de consciência em crianças e adultos continua sendo um dos problemas mais desafiadores na medicina contemporânea. De acordo com observações clínicas ucranianas, até 20–30% dos episódios inicialmente classificados como convulsões epiléticas têm, na realidade, uma origem cardiogênica, neurogênica ou outra não epilética. Erros na fase diagnóstica inicial representam riscos significativos para os pacientes, incluindo restrições de direitos, estigmatização e classificação psiquiátrica indevida.

O síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) está entre os distúrbios congênitos mais comuns da condução cardíaca. Ele é caracterizado pela presença de uma via de condução acessória (feixe de Kent), que causa ativação ventricular precoce e o desenvolvimento de taquiarritmias paroxísticas, incluindo taquicardia atrioventricular reentrante (TAVR) [5]. A prevalência do WPW na população geral é estimada em 1,5–2 casos por 1000 indivíduos. Em adolescentes e adultos jovens, o síndrome é frequentemente diagnosticado erroneamente como epilepsia, criando desafios diagnósticos adicionais.

Na prática clínica ucraniana, foram registrados casos de epilepsia mal diagnosticada em pacientes com síndrome WPW, destacando a importância de uma abordagem interdisciplinar. A presença de arritmias e perda súbita de consciência requer um algoritmo diagnóstico bem definido, incluindo ECG, monitoramento Holter de 24 horas e, quando indicado, estudos eletrofisiológicos. De acordo com os protocolos clínicos do Ministério da Saúde da Ucrânia, o monitoramento mínimo (ECG, oximetria de pulso e controle da pressão arterial) durante os períodos pré e pós-operatório é fundamental para a detecção de arritmias e prevenção da hipóxia [6].

Dificuldades diagnósticas particulares surgem em casos com histórico médico precoce. Por exemplo, durante uma apendicectomia na infância, pode ocorrer uma parada circulatória transitória (morte clínica) e um período de hipóxia cerebral, que pode influenciar o desenvolvimento de alterações neurológicas subsequentes. Ao mesmo tempo, não há dados clínicos que permitam conclusões generalizadas sobre uma relação causal entre o síndrome WPW, a apendicectomia e os tumores cerebrais.

Problemas sistêmicos no acesso aos cuidados médicos frequentemente complicam a resposta oportuna aos episódios arritmicos. Casos documentados em que visitas de pacientes à noite ou no período da tarde receberam atenção inadequada destacam a insuficiente integração dos serviços médicos e ressaltam a necessidade

de estabelecer equipes multidisciplinares, incluindo cardiologistas, neurologistas, intensivistas e especialistas em expertise médico-social.

A dimensão sociocultural também é de importância significativa. Pacientes com condições crônicas graves frequentemente enfrentam isolamento social e exaustão psicológica. Manter a atividade criativa pode servir como um mecanismo compensatório e um fator de resiliência. No presente caso, apesar das sérias limitações médicas, a paciente produziu um substancial conjunto de obras poéticas incluídas na coleção interativa multilíngue “Os Primeiros Acordes” da série “Luz na Alma”. Isso demonstra que a atividade artística apoia o equilíbrio psicológico, facilita a adaptação social e promove a formação de uma identidade positiva, especialmente durante tratamento prolongado e prognóstico incerto.

Além de sua relevância clínica, este caso possui valor educacional, ilustrando como uma equipe multidisciplinar pode minimizar o risco de erros de diagnóstico e responder prontamente a eventos arritmicos complexos.

Assim, a análise deste caso clínico tem uma dupla importância:

- Primeiro, destaca o problema dos erros diagnósticos e a necessidade de uma abordagem multidisciplinar na prática médica ucraniana;
- Segundo, demonstra o papel da atividade criativa como um recurso para a resiliência psicológica e social.

O objetivo deste artigo é fornecer uma análise interdisciplinar do caso clínico, identificar as causas dos erros diagnósticos, avaliar as consequências sociais e legais e demonstrar a importância da atividade criativa como um fator de resiliência.

Objetivo da Pesquisa

O objetivo deste estudo é realizar uma análise abrangente de um caso clínico envolvendo uma patologia cardíaca rara caracterizada por um longo período de diagnósticos errôneos e má interpretação dos sintomas. A atenção especial não se limita apenas aos aspectos médicos, mas também às consequências sociais e psicológicas, incluindo a estigmatização e a formação de atitudes tendenciosas em relação ao paciente dentro dos ambientes familiar, educacional e profissional.

O estudo busca demonstrar como uma abordagem interdisciplinar de múltiplos níveis—combinando diagnóstico clínico, análise socio-humanitária e reflexão criativa—contribui para uma compreensão mais profunda do caso clínico e o desenvolvimento de novos modelos de resposta na prática médica. Especial ênfase é dada à importância de um diagnóstico precoce e preciso para prevenir complicações psicossociais secundárias, bem como à necessidade de integrar o conhecimento médico com abordagens culturais e sociais da saúde.

Materiais e Métodos

A paciente esteve sob supervisão e tratamento médico durante o período de 1991 a 2025. O estudo foi realizado com base em uma análise retrospectiva dos

registros médicos, resultados dos exames diagnósticos, conclusões dos consúlios multidisciplinares e dados de acompanhamento pós-operatório.

1. *Condições do Estudo*

A observação da paciente foi realizada em várias instituições especializadas:

- Instituto Infantil e Juvenil N. K. Krupskaya (1991; atualmente — Centro Regional Clínico Pediátrico de Reabilitação Médica de Kharkiv) — diagnóstico primário de síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW);
- Instituto Nacional de Terapia L. T. Malaya (1996, 2025) — confirmação do diagnóstico de WPW e reavaliação da condição da paciente;
- Hospital Psiquiátrico Regional de Kharkiv No. 1 (2002–2005) — interpretação incorreta dos sintomas com o estabelecimento do diagnóstico de “epilepsia”;
- Hospital Clínico Regional de Kharkiv, uma entidade não comercial pública do Conselho Regional de Kharkiv (2025) — observação ambulatorial e hospitalar, tratamento neurocirúrgico;
- Instituto de Cirurgia Geral e de Emergência V. T. Zaitsev (2025) — consólio multidisciplinar, planejamento da ablação por radiofrequência (ARF);
- Instituto de Radiologia Médica e Oncologia S. P. Grigoriev (2025) — exame adicional e tratamento de neoplasmas cerebrais;
- Associação Médica Territorial de Lozova, entidade pública não comercial (2025) — cuidados de emergência em episódios de arritmia supraventricular.

2. *Métodos de Exame*

Para uma avaliação abrangente da condição da paciente, foram empregados os seguintes métodos:

- **Métodos cardiológicos:** eletrocardiografia em repouso e de esforço, monitoramento Holter de 24 horas, ecocardiografia, avaliação da fração de ejeção ventricular esquerda, determinação do estágio de insuficiência cardíaca segundo a classificação ACC/AHA;
- **Métodos neurológicos e neurocirúrgicos:** ressonância magnética (RM), tomografia computadorizada (TC), testes cognitivos, exame neurológico, monitoramento funcional pós-operatório;
- **Estudos funcionais:** monitoramento da pressão arterial, oximetria de pulso, análise do ECG, testes respiratórios para avaliar distúrbios ventilatórios;
- **Consultas multidisciplinares:** participação de cirurgiões cardíacos, neurocirurgiões, neurologistas, arritmologistas e especialistas em diagnóstico;
- **Análise sociojurídica:** revisão do histórico da paciente pela Comissão Médico-Social de Especialistas (CMSE), avaliação do impacto do erro diagnóstico nos direitos profissionais e sociais, análise da atividade cultural e social como fator de resiliência psicológica.

3. *Cronologia da Observação*

- **1991:** detecção primária da síndrome de WPW no Instituto Infantil e Juvenil N. K. Krupskaya;
- **1996:** confirmação do diagnóstico de WPW no Instituto de Terapia L. T. Malaya;
- **2002–2005:** interpretação incorreta dos sintomas e estabelecimento do diagnóstico de “epilepsia” no hospital psiquiátrico;
- **2025:** reexame abrangente, avaliação cognitiva, monitoramento dos estados sincopais e distúrbios pós-operatórios; craniotomia com plastia óssea e ressecção microsúrgica de meningioma anaplásico; monitoramento pós-operatório e reabilitação; planejamento de ablação por radiofrequência (ARF).

4. *Princípios de Análise*

O estudo combinou abordagens retrospectiva e prospectiva, integrando dados clínicos, sociojurídicos e psicológicos. Particular atenção foi dada ao monitoramento mínimo (eletrocardiografia, oximetria de pulso e controle da pressão arterial) durante os períodos pré-operatório e pós-operatório para a detecção precoce de arritmias e prevenção de hipóxia [7].

Para a avaliação quantitativa da função cardíaca neste caso clínico, a fração de ejeção ventricular esquerda (FE) foi calculada utilizando o método de Simpson, que oferece uma avaliação confiável da função sistólica e é amplamente utilizado tanto na prática clínica quanto na pesquisa. Essa abordagem permitiu a avaliação das mudanças dinâmicas na função ventricular ao longo do tempo, melhorando a precisão do diagnóstico e do planejamento terapêutico.

Essa fórmula permite que clínicos e pesquisadores determinem quantitativamente a eficiência do débito cardíaco. Valores de FE abaixo de 50% geralmente indicam disfunção sistólica, enquanto uma fração de ejeção preservada, como observado neste paciente, corresponde à insuficiência cardíaca com fração de ejeção preservada (ICFEP), que tem implicações clínicas e terapêuticas específicas.

A avaliação matemática facilitou o monitoramento da função cardíaca antes e após a intervenção neurocirúrgica, bem como durante episódios de taquicardia paroxística associados à síndrome de Wolff–Parkinson–White (veja Fórmula 1).

$$EF(\%) = \frac{VDF - VDS}{VDF} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

- VDF — Volume diastólico final do ventrículo esquerdo (mL),
- VDS — Volume sistólico final do ventrículo esquerdo (mL).

Fonte: [8].

A análise foi complementada pela avaliação matemática da dinâmica dos parâmetros cardiológicos, o que permitiu rastrear a evolução clínica e justificar as decisões diagnósticas e terapêuticas (Tabela 1).

Tabela 1. Observação dos Parâmetros Cardiológicos

Ano de Observação	FC (bpm)	PA (mmHg)	ECG	Notas
1991	110	110/70	Fenômeno WPW	Instituto Infantil e Adolescente N. K. Krupskaya
1996	112	115/72	WPW confirmado	Instituto Nacional de Terapia L. T. Malaya
2005	120	118/75	Taquicardia sinusal	Diagnóstico incorreto de “epilepsia”
2025 ((pré-operatório)	115	120/78	Fenômeno WPW, taquicardia paroxística	Hospital Clínico Regional de Kharkiv, Conselho Regional de Kharkiv
2025 (pós-operatório)	115	115/70	Taquicardia sinusal, WPW	Monitoramento pós-neurocirúrgico; acompanhamento de WPW; ablação por cateter de radiofrequência (RFA)

Fontes: Desenvolvimento do autor.

O monitoramento contínuo da frequência cardíaca, pressão arterial e parâmetros eletrocardiográficos (ECG) permitiu a avaliação tanto das tendências de longo prazo quanto dos episódios agudos associados à síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) e arritmias concomitantes. A integração de dados históricos e contemporâneos também forneceu o contexto necessário para interpretar o impacto da intervenção neurocirúrgica e dos procedimentos cardiológicos subsequentes, incluindo a ablação por cateter com radiofrequência (ARF).

5. Dados Objetivos e Subjetivos Durante a Hospitalização

5.1. Queixas Subjetivas e Manifestações Clínicas

- A paciente relatou episódios recorrentes de dispneia arritmica ocorrendo em diferentes períodos do dia — à noite, de manhã, à tarde e à noite. Observou-se uma resposta desigual da equipe médica: durante o horário de expediente, o atendimento era prestado de forma imediata, enquanto o acesso à supervisão qualificada era limitado nas noites, fins de semana e feriados.
- Nessas circunstâncias, a paciente recebeu apoio psicossocial e fisiológico contínuo de seu cônjuge, que permaneceu ao seu lado em tempo integral. Esse suporte teve relevância clínica adicional, pois reduziu o risco de complicações durante episódios arrítmicos graves e contribuiu para a estabilização de seu estado até a chegada da assistência médica profissional.

- Ao contatar os profissionais de saúde, a expressão “não é da nossa especialidade” foi frequentemente registrada, o que evidenciou a necessidade clínica de monitoramento adicional e a importância de uma abordagem interdisciplinar.

5.2. Provisão de Materiais e Equipamentos

- Com o objetivo de melhorar a qualidade do atendimento médico, o fundo forneceu à Unidade de Neurocirurgia do Hospital Clínico Regional de Kharkiv cadeiras de rodas e um oxímetro de pulso para monitoramento dos parâmetros fisiológicos dos pacientes. Nos primeiros dias de uso, a eficácia desses dispositivos foi limitada devido a características organizacionais do departamento e lacunas nos procedimentos internos.
- Para o Departamento Terapêutico da Associação Médica Territorial de Lozova (KNP “Associação Médica Territorial de Lozova”), o fundo forneceu cateteres e outros materiais médicos, o que aprimorou o atendimento de emergência e garantiu uma resposta rápida durante episódios arrítmicos graves.

5.3. Observações Objetivas Durante a Hospitalização

- Após a cirurgia, a paciente não foi transferida para a Unidade de Terapia Intensiva (UTI) do Departamento de Neurocirurgia do Hospital Clínico Regional de Kharkiv devido a obras de reparo em andamento. Pacientes de UTI foram temporariamente acomodados em corredores; portanto, a paciente permaneceu em uma enfermaria geral até a alta.
- A permanência na enfermaria geral foi dificultada pelo ruído das obras e por perturbações auditivas provenientes de outras áreas do hospital (incluindo explosões ou impactos), gerando estresse psicofisiológico adicional e impacto negativo sobre a condição clínica.
- Foram documentados múltiplos episódios de transporte de corpos de pacientes falecidos pelos corredores do departamento de neurocirurgia, o que indicou riscos reais à segurança e à vida dos pacientes.
- A ausência de documentação abrangente sobre episódios de dispneia grave e perda de consciência, bem como a insuficiência dos dados imuno-histoquímicos, dificultou a avaliação completa do estado da paciente e o monitoramento pós-operatório.
- Apesar dessas limitações, a equipe observou períodos de relativa estabilização da pressão arterial e da frequência cardíaca, atribuídos às medidas de suporte e ao cuidado familiar contínuo.

5.4. Tratamento Posterior e Aspectos Organizacionais

O manejo subsequente da paciente requer uma abordagem abrangente que integre componentes médicos, organizacionais e psicossociais:

- **Bloco cardiológico:** ablação por radiofrequência (ARF), monitoramento contínuo de Holter, controle da fração de ejeção do ventrículo esquerdo,

avaliação do estágio de insuficiência cardíaca e ajuste da terapia farmacológica;

- **Bloco neurocirúrgico e oncológico:** monitoramento pós-operatório, exames de RM/TC para detecção de possíveis recidivas, consultas com neurocirurgiões e oncologistas para ajustar a estratégia terapêutica subsequente;
- **Coordenação organizacional:** garantia de cooperação entre o Hospital Clínico Regional de Kharkiv (KNP), o Instituto Nacional de Terapia L. T. Malaya, a Associação Médica Territorial de Lozova, o Instituto Zaicev e o Instituto Grigoriev, assegurando acesso 24 horas à assistência médica e ao monitoramento de recursos;
- **Apoio sociojurídico:** avaliação do grau de incapacidade, determinação do status adequado, oferta de assistência psicológica e integração de atividades criativas como fator de resiliência psicológica;
- **Medidas de reabilitação:** monitoramento da atividade física, reabilitação cognitiva, estímulo às iniciativas criativas para melhoria da qualidade de vida, tratamento em ambientes termais e programas de recuperação.

Resultados

A paciente, nascida em 1975, começou a apresentar os primeiros episódios de perda súbita de consciência acompanhados de convulsões durante a infância. Foi orientada a limitar a atividade física e evitar esforços de intensidade moderada. Registros ambulatoriais datados de 1990 indicam a presença de distúrbios crônicos de saúde, incluindo dor torácica recorrente e mal-estar geral.

Em 1991, a paciente recebeu o primeiro diagnóstico de síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), confirmado novamente em 1994. O exame eletrocardiográfico (ECG) revelou a presença de ondas delta e encurtamento do intervalo PQ, indicando a existência de uma via de condução atrioventricular acessória (feixe de Kent) e uma predisposição para taquicardia atrioventricular reentrante antidrômica (AVRT).

Entre 2002 e 2005, devido à insuficiência da investigação cardiológica, a paciente foi erroneamente hospitalizada em uma instituição psiquiátrica com diagnóstico de “epilepsia”, sendo-lhe prescritos medicamentos potencialmente perigosos na presença de WPW.

Durante todo o período de observação, observou-se tendência persistente a episódios sincopais e arritmias cardíacas, confirmadas pelos resultados de monitoramento eletrocardiográfico prolongado e observação contínua por Holter.

Dados Cardiológicos:

- **Frequência dos Episódios Cardíacos:** Até 20–25 episódios anuais de perda súbita de consciência durante a infância, com diminuição gradual da frequência

na adolescência sob controle farmacológico (β -bloqueadores, trifosfato de adenosina).

- **Tipo de Arritmia:** Síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW), taquicardia atrioventricular reentrante paroxística (AVRT) e taquicardia sinusal periódica.
- **Fração de Ejeção do Ventrículo Esquerdo (FEVE):** Em 2025, antes da cirurgia — 58%; após a intervenção neurocirúrgica — 56%, com função sistólica preservada do ventrículo esquerdo segundo dados ecocardiográficos.

O estado cardiológico da paciente indica uma síndrome de WPW persistente, com episódios recorrentes de taquicardia paroxística, exigindo monitoramento contínuo e consideração da ablação por cateter como medida terapêutica definitiva.

Dados Neurológicos e Neurocirúrgicos:

- **Achados de RM e TC:** Em 2025, foi detectada uma massa intracraniana no lobo frontal direito, com sinais de anaplasia.
- **Condição Pós-operatória:** A paciente foi submetida a cranioplastia e remoção microcirúrgica de um tumor extracerebral, resultando em estabilização das funções neurológicas no período pós-operatório.
- **Avaliação Cognitiva:** As avaliações pré e pós-operatórias revelaram alterações mínimas na atenção e na retenção de memória, indicando déficit cognitivo pós-operatório insignificante.
- **Impacto de Episódios Precoce de Hipóxia Transitória Durante Cirurgias na Infância:** Esses episódios podem ter exercido efeitos duradouros sobre o neurodesenvolvimento e merecem investigação adicional em estudos prospectivos.

A intervenção neurocirúrgica possibilitou a remoção completa do tumor, estabilização do estado neurológico e preservação das funções cognitivas — fatores de importância decisiva para o planejamento do manejo cardiológico subsequente.

Dados Funcionais e Psicossociais:

- **Monitoramento de Parâmetros Vitais:** Durante a hospitalização, registraram-se episódios de dispneia arrítmica, principalmente nos períodos noturnos e vespertinos. O pessoal médico respondeu prontamente durante o expediente, porém foram observados atrasos na assistência durante a noite e fins de semana no Departamento de Neurocirurgia do Hospital Clínico Regional de Kharkiv.
- **Apoio:** Para reduzir os riscos em períodos de supervisão médica limitada, a paciente recebeu apoio social e psicológico contínuo de familiares.
- **Atividade Psicossocial:** A paciente mantém envolvimento em atividades criativas, especialmente na poesia, publicada com traduções multilíngues na série interativa “A Luz da Alma”. Essa prática influencia positivamente a

resiliência psicológica e favorece a adaptação social, destacando a importância da participação cultural dentro de uma estratégia terapêutica abrangente.

A expressão criativa atua como um mecanismo compensatório de resiliência psicológica, enquanto a disponibilidade limitada de recursos médicos durante o período noturno reforça a necessidade de manutenção de equipes multidisciplinares plenamente operacionais.

Estratégia para o Manejo Futuro:

1. ***Acompanhamento Cardiológico:*** Planejamento e execução da ablação por radiofrequência (ARF) para eliminar episódios de taquicardia paroxística.
2. ***Acompanhamento Neurocirúrgico e Neurológico:*** Monitoramento pós-operatório com avaliação cognitiva e motora, seguido de acompanhamento ambulatorial da recuperação.
3. ***Provisão Terapêutica:*** Garantia de acessibilidade ininterrupta aos serviços médicos de emergência.
4. ***Instituições Estatais Especializadas:*** Participação em consultas clínicas multidisciplinares, realização de exames diagnósticos adicionais e supervisão pós-operatória.
5. ***Apoio Psicossocial:*** Manutenção da atividade criativa e integração da paciente em projetos sociais e culturais.
6. ***Equipamentos e Monitoramento de Equipes:*** Garantia de plena operacionalidade e utilização de oxímetros de pulso, cadeiras de rodas e sistemas de medição da pressão arterial durante turnos noturnos e de fim de semana.

Uma abordagem multidisciplinar abrangente, integrando manejo cardiológico, neurocirúrgico e psicossocial, minimiza o risco de recorrência de episódios sincopais e cria as condições necessárias para a restauração da atividade social e da independência funcional da paciente.

Discussão

Características Gerais da Síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW)

A síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) é uma das anomalias de condução cardíaca mais prevalentes, capaz de causar distúrbios graves do ritmo, incluindo taquicardia paroxística, fibrilação atrial e até parada cardíaca [9].

No caso clínico da paciente Marianna Svitozar, a coexistência de sintomas cardiológicos e neurológicos dificultou o diagnóstico preciso, resultando na identificação errônea de “epilepsia”. Estudos clínicos demonstraram que as arritmias associadas à WPW podem simular crises epiléticas devido à hipóxia cerebral causada por distúrbios do ritmo [10].

Combinação de Manifestações Cardiológicas e Neurológicas

Este caso clínico ilustra os desafios diagnósticos decorrentes da presença simultânea de uma patologia cardíaca rara, de erros diagnósticos e da insuficiente integração dos serviços médicos.

A síndrome de WPW é uma anomalia congênita da condução cardíaca caracterizada pela presença de uma via atrioventricular acessória (feixe de Kent), levando à excitação ventricular prematura e ao desenvolvimento de taquicardias paroxísticas.

Nesta paciente, a coexistência da síndrome de WPW com episódios de parada cardíaca transitória durante a apendicectomia na adolescência aumentou o risco de hipóxia cerebral e de manifestações neurológicas [11].

Os sintomas epileptiformes foram, provavelmente, secundários, associados à hipóxia após morte clínica devido à parada cardíaca intraoperatória. A ausência de documentação completa dificulta a confirmação definitiva da causa da lesão cerebral; contudo, os dados cardiológicos disponíveis sustentam fortemente esta hipótese. A síndrome de WPW é frequentemente provocada ou agravada por intervenções cirúrgicas ou situações de estresse [12], ressaltando a importância crítica do monitoramento cardiológico rigoroso, especialmente no período perioperatório.

Manifestações Precoces e Erros Diagnósticos

A análise da história médica da paciente revelou que os primeiros episódios de perda súbita de consciência acompanhados de convulsões ocorreram na infância.

A ausência de registros médicos completos dificulta a reconstrução detalhada desses eventos; entretanto, a documentação ambulatorial disponível indica distúrbios crônicos de saúde, incluindo sintomas cardíacos manifestados antes dos quinze anos de idade.

O agravamento posterior após a apendicectomia e a possível alteração circulatória durante a anestesia sugerem isquemia cerebral transitória que pode ter desencadeado manifestações epileptiformes pós-hipóxicas, complicando o quadro clínico geral.

Entre 2002 e 2005, a paciente foi erroneamente diagnosticada com “epilepsia” em uma instituição psiquiátrica. Esse erro diagnóstico teve sérias implicações clínicas e sociais: foi-lhe prescrito carbamazepina, fármaco que pode agravar a síndrome de WPW ao induzir arritmias [13]. Além disso, foram impostas restrições à atividade física e ao trabalho moderado.

Casos desse tipo enfatizam a importância crítica da integração das avaliações cardiológica, neurológica e psiquiátrica em crianças e adolescentes que apresentam episódios sincopais [14].

Evolução Clínica Contemporânea

A evolução clínica em 2025 evidencia a necessidade de uma abordagem multidisciplinar. Episódios prolongados de taquicardia paroxística, com frequência cardíaca atingindo até 250 batimentos por minuto, exigiram a participação simultânea de cardiologistas, eletrofisiologistas e neurocirurgiões.

A realização de craniotomia com cranioplastia e remoção microcirúrgica de meningioma anaplásico permitiu o controle do componente neurocirúrgico, enquanto o planejamento subsequente da ablação cardíaca por radiofrequência assegurou a estabilização do perfil cardiológico da paciente [15].

Os dados observacionais indicam que o monitoramento mínimo — eletrocardiografia, oximetria de pulso e controle da pressão arterial — nos períodos pré e pós-operatório é fundamental para a detecção oportuna de arritmias e prevenção da hipóxia cerebral.

Desafios sistêmicos, como o acesso limitado a especialistas durante o período noturno e a fragmentação das responsabilidades entre equipes, evidenciam a necessidade urgente de criação de equipes multidisciplinares para o manejo abrangente de pacientes com distúrbios cardio-neurológicos complexos [16].

Padrões Clínicos e Estrutura Diagnóstica

As diretrizes clínicas do Ministério da Saúde da Ucrânia destacam a obrigatoriedade do uso de eletrocardiografia em pacientes com síncope e arritmias.

Neste caso, a avaliação abrangente com monitoramento Holter, ecocardiografia e vídeo-EEG permitiu diferenciar manifestações cardíacas e neurológicas. Testes térmicos adicionais revelaram instabilidade autonômica, complicando o quadro clínico e indicando disfunção do sistema nervoso autônomo.

Em aproximadamente 30% dos casos, a síndrome de WPW pode simular epilepsia; portanto, ECG, monitoramento Holter e ecocardiografia devem constituir procedimentos diagnósticos padrão em episódios sincopais ou semelhantes a crises convulsivas.

Essa abordagem previne a prescrição desnecessária de medicamentos antiepilépticos que podem agravar a patologia cardíaca subjacente.

Dimensão Sociocultural

Apesar das limitações impostas pela sua condição médica, a paciente mantém uma vida criativa ativa, com ampla produção poética publicada em coleções multilíngues interativas da série “A Luz da Alma”.

Esse fato reforça o papel da criatividade artística como mecanismo compensatório de resiliência psicológica e de adaptação social, especialmente durante períodos de tratamento prolongado e de prognóstico incerto [17].

Dimensão Jurídica e Ética

Diante da documentação limitada sobre intervenções cirúrgicas e episódios de parada cardíaca, recomenda-se uma avaliação pericial independente para confirmar as causas da lesão cerebral hipóxica e reavaliar a classificação da deficiência.

A remoção do tumor, associada à síncope cardiogênica recorrente, pode justificar a reclassificação do status de deficiência de psiquiátrico para neurocardiológico, exigindo uma abordagem multidisciplinar que garanta uma avaliação médico-legal objetiva da condição da paciente.

Conclusões

A análise do caso clínico de uma paciente com comorbidade de síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW) e encefalopatia pós-hipóxica destaca diversos aspectos de relevância prática e científica:

1. *Aspecto Médico*

- O diagnóstico precoce e preciso da síndrome de WPW é de importância crítica para a prevenção de arritmias e complicações graves.
- O monitoramento cardiológico contínuo (eletrocardiografia, monitoramento Holter 24 horas e ecocardiografia) em crianças e adolescentes com condições sincopais permite a diferenciação oportuna entre manifestações cardíacas e neurológicas, evitando a administração de anticonvulsivantes que possam agravar a evolução da WPW.
- Pacientes com patologia neurológica comórbida requerem monitoramento integrado para prevenir hipóxia cerebral transitória durante episódios arrítmicos ou estados perioperatórios.

2. *Aspecto Organizacional*

- O manejo desses pacientes requer a constituição de equipes multidisciplinares compostas por cardiologistas, eletrofisiologistas, neurologistas, neurocirurgiões e psiquiatras.
- Expandir o acesso a serviços médicos durante períodos noturnos, vespertinos e finais de semana é fundamental para reduzir o risco de complicações.
- A implementação de equipamentos de monitoramento padronizados e o treinamento das equipes (oximetria de pulso, controle da pressão arterial) melhora tanto a segurança quanto a eficácia do atendimento médico.

3. *Aspecto Psicossocial e Cultural*

- A atividade criativa ativa da paciente, incluindo publicações em coleções multilíngues interativas de poesia, funciona como mecanismo compensatório de resiliência psicológica e contribui para a adaptação social bem-sucedida.
- O engajamento social e cultural melhora a qualidade de vida de pacientes com doenças graves, reduz a tensão psicoemocional e favorece melhores resultados de reabilitação.

4. Aspecto Jurídico e Ético

- O erro diagnóstico e o acesso limitado a recursos médicos podem levar à determinação inadequada do grau de deficiência e à estigmatização da paciente.
- Uma avaliação pericial independente pode confirmar as causas da lesão cerebral hipóxica e estabelecer um grau objetivo de deficiência, apoiando a reclassificação apropriada de psiquiátrica para neurocardiológica.
- Episódios frequentes de síncope cardiogênica podem justificar a revisão formal do status social e médico da paciente dentro de uma avaliação multidisciplinar.

Significado Clínico e Prático Geral

- Este caso clínico ilustra a complexidade do manejo de pacientes com combinação comórbida de síndrome de WPW e encefalopatia pós-hipóxica.
- Ressalta a necessidade de implementação de protocolos multidisciplinares amplos para diagnóstico e tratamento de distúrbios sincopais e semelhantes a crises convulsivas.
- Essa abordagem minimiza o risco de erros diagnósticos, garante terapia oportuna e reduz a probabilidade de complicações graves, com relevância prática direta para cardiologistas, neurologistas e médicos de atenção primária.

Referências

1. Ministério da Saúde da Ucrânia. (2012, 3 de agosto). Protocolo clínico unificado “Distúrbios do ritmo cardíaco em adultos” (Ordem n.º 597). Ministério da Saúde da Ucrânia.
2. Havrushenko, L. V., & Mykhailovska, N. S. (2015). Diagnóstico diferencial de crises epiléticas e episódios sincopais em crianças. *Ukrainian Medical Journal*, 3(107), 68–72.
3. Kostiuk, O. H., & Todurov, B. M. (2019). Consequências sociojurídicas de diagnóstico incorreto na prática clínica: perícia médica e social. *Public Health*, 8(3), 50–56.
4. Dziak, H. V., & Yavorska, O. O. (2017). Estados sincopais cardiogênicos: dificuldades diagnósticas e abordagem multidisciplinar. *Cardiology. Heart and Vessels*, 1, 12–18.
5. Anderson, R. H., & Ho, S. Y. (2019). Síndrome de Wolff–Parkinson–White: fisiopatologia e aspectos clínicos. *Heart*, 105, 123–130.
6. Ministério da Saúde da Ucrânia. (2024). Diretrizes clínicas para manejo de pacientes com distúrbios de condução cardíaca (Ordem n.º XXX). Ministério da Saúde da Ucrânia.

7. Ministério da Saúde da Ucrânia. (2021). Ordem n.º 234 “Sobre monitoramento de pacientes em risco de arritmia.” Ministério da Saúde da Ucrânia.
8. Burns, K. V., & Freedman, R. (2023). Fração de ejeção ventricular esquerda. In StatPearls. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
9. Bilous, P. O. (2019). Síndrome de Wolff–Parkinson–White: manifestações clínicas e desafios diagnósticos. *Ukrainian Journal of Cardiology*, 1, 23–29.
10. Cherenko, I. V. (2020). Diagnóstico e tratamento de arritmias em crianças: estado atual do problema. *Cardiology and Internal Medicine*, 2(15), 45–52.
11. Biletsky, R. S. (2021). Lesão cerebral hipóxica em crianças após parada cardíaca: casos clínicos e aspectos prognósticos. *Medical Perspectives*, 26(4), 112–118.
12. Mironyuk, V. Yu. (2018). Síndrome de WPW: evolução, complicações e possibilidades de correção. *Cardiology of the 21st Century*, 4(7), 66–72.
13. Semeniuk, L. I. (2020). Fármacos para arritmias de condução: riscos e precauções clínicas. *Pharmacology and Medicine*, 5(12), 78–84.
14. Kozak, O. V. (2017). Síncope em crianças e adolescentes: aspectos cardiológicos e neurológicos. *Pediatric Medicine*, 1(3), 19–27.
15. Palamarchuk, A. M. (2022). Diagnóstico abrangente de estados sincopais: monitoramento Holter, EEG e ecocardiografia. *Modern Neurology*, 10(2), 51–59.
16. Ministério da Saúde da Ucrânia. (2014, 24 de fevereiro). Protocolo clínico unificado para manejo de arritmias em crianças (Ordem n.º 152). Kiev: Ministério da Saúde da Ucrânia.
17. Hrynevych, T. O. (2023). Aspectos legais e sociais da determinação de deficiência em doenças cardioneurológicas. *Medical Law of Ukraine*, 2(19), 33–41.

[JA_3]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organization
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. Наук, канд. Екон. Наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. In Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Пенькова Марина Юріївна, канд. Мед. Наук,
старший науковий співробітник,
ДУ " Національний інститут терапії імені Л. Т. Малої НАМН України;
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

Marina Yuriyivna Penkova, PhD in Medicine,
Senior Research Fellow,
L. T. Mala National Institute of Therapy,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine
e-mail: marinapenkova1971@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-4997-5936

WPW患者における髄膜腫の臨床例

要旨

ウォルフ–パーキンソン–ホワイト（WPW）症候群は、付加的伝導路（Kent束）の存在に起因する先天性心臓伝導障害であり、心室の早期興奮および発作性頻拍性不整脈の発症を引き起こす。ほとんどの場合、アデノシン三リン酸やβ遮断薬を含む薬物療法により管理可能である[1]。なお、初期にはてんかん発作と誤分類される症例の20～30%が、実際には心原性または非てんかん性の起源であることがある[2]。初期段階での診断誤りは、権利制限、スティグマ化、誤った精神医学的ラベリングなど、重大な臨床的・社会的影響をもたらす可能性がある[3]。

本稿では、長期にわたる医療歴を有する女性患者（1975年生まれ）の臨床例を報告する。2005年に初めててんかんと診断されたが、以後の経過観察では全般性発作は確認されなかった。主な症状は、WPW症候群に関連する不整脈による意識消失の突発エピソード、未分化型髄膜腫の存在、慢性心不全であった。診断上の課題は、小児期の虫垂切除術後に一過性循環停止と脳虚血の既往があることにより複雑化し、これが後の神経学的および腫瘍様変化に寄与した可能性があり、本症例は学際的解析において特に価値がある。

2025年7月22日から8月8日まで、患者はハルキウ州立臨床病院神経外科（科長：Yu. O. Babalyan）にて治療を受けた。2025年7月29日、神経外科医A. O. Pshenichnyの監督のもと、右前頭葉における未分化型髄膜腫の骨形成的開頭術および顕微鏡下切除術が行われた。確認された診断は、右前頭葉占拠性病変、失神発作、WPW症候群、発作性頻拍症、術後腫瘍切除状態であった。

2025年8月、重度頻拍性不整脈（心拍数250拍/分まで）の再発が認められ、長期的な救急管理とLozova地域医療連合の治療科での入院が必要となった。治療は医師S. S. Slynkoおよび医療スタッフの監督下で行われた。確認された診断は、WPW症候群、発作性頻拍症、左室駆出率保持型慢性心不全ステージB（ACC/AHA分類）、術後腫瘍切除状態であった。

本症例は、診断誤りを防ぎ、機能的・社会的障害の正確な評価[4]を確保し、治療計画を最適化するために、心臓専門医、神経科医、神経外科医、医療社会専門家を含む学際的アプローチの必要性を強調している。症例の社会文化的側面は、患者の継続的な創作活動によって示される。高等教育は受けていないにもかかわらず、多数の詩作が多言語インタラクティブ集「魂の光の最初の和音」に収録されており、創作活動が重度の医療制限下でも心理的・社会的レジリエンスの要因となりうることを示している。

キーワード: ウォルフ-パーキンソン-ホワイト症候群、誤診、てんかん、不整脈、髄膜腫、脳腫瘍、学際的アプローチ、社会的レジリエンス、創造性、臨床例、医療社会的評価

はじめに

小児および成人における突発性意識消失の診断は、現代医療における最も困難な課題の一つである。ウクライナの臨床観察によれば、初期にてんかん発作と分類された症例の20～30%は、実際には心原性、神経原性、またはその他の非てんかん性起源であることがある。初期診断段階での誤

りは、患者に対する権利制限、スティグマ化、不要な精神医学的分類など、重大なリスクをもたらす。

ウォルフ-パーキンソン-ホワイト（WPW）症候群は、最も一般的な先天性心臓伝導障害の一つである。本症候群は付加的伝導路（ケント束）の存在を特徴とし、心室の早期興奮および発作性頻拍性不整脈（房室リエントリー性頻拍を含む）の発症を引き起こす[5]。一般集団におけるWPW症候群の有病率は、1000人あたり1.5～2例と推定されている。青年期および若年成人では、症候群がてんかんと誤診されることが多く、診断上の追加的課題を生じさせる。

ウクライナの臨床実践において、WPW症候群患者における誤診てんかんの症例は多数報告されており、学際的アプローチの重要性が強調される。不整脈および突発性意識消失の出現は、心電図、24時間ホルター心電図、必要に応じて電気生理学的検査を含む明確な診断アルゴリズムを必要とする。ウクライナ保健省の現行臨床プロトコルによれば、術前・術後の最小限のモニタリング（心電図、パルスオキシメトリ、血圧管理）であっても、不整脈の早期発見および低酸素症の予防に極めて重要である[6]。

特に、初期医療歴を有する症例では診断上の困難が増す。例えば、小児期の虫垂切除術時に一過性循環停止（臨床的死亡）や脳虚血が生じることがあり、後の神経学的変化の発生に影響を与える可能性がある。しかし、WPW症候群、虫垂切除術、および脳腫瘍との因果関係を示す一般的な臨床データは存在しない。

医療アクセスの制度的課題は、不整脈エピソードへの迅速な対応を複雑化させることがある。夜間や夕方の患者受診時に十分な対応が行われなかった症例が報告されており、医療サービスの統合不足が示唆される。このことは、心臓専門医、神経科医、集中治療医、および医療社会専門家を含む学際的チームの設置の必要性を浮き彫りにしている。

社会文化的側面も重要である。重度の慢性疾患患者は、社会的孤立や心理的疲弊に直面することが多い。創作活動の維持は、補償的メカニズムおよびレジリエンス因子として機能する可能性がある。本症例では、重篤な医療制限にもかかわらず、患者は多数の詩作を制作し、シリーズ「魂の光」における多言語インタラクティブ集『最初の和音』に収録されている。これにより、芸術活動は心理的安定の維持、社会適応の促進、特に長期治療および不確実な予後下における肯定的アイデンティティ形成に寄与することが示される。

臨床的意義を超えて、本症例は教育的価値も有し、学際的チームがいかに誤診リスクを最小化し、複雑な不整脈事象に迅速に対応できるかを示す。

したがって、本症例の分析は二重の意義を持つ：

- 第一に、診断誤りの問題およびウクライナ医療における学際的アプローチの必要性を浮き彫りにすること；
- 第二に、創作活動が心理的・社会的レジリエンスの資源として機能することを示すこと。

本稿の目的は、臨床症例の学際的解析を行い、診断誤りの原因を特定し、社会的・法的影響を評価し、創作活動のレジリエンス因子としての意義を示すことである。

研究目的

本研究の目的は、長期にわたる誤診および症状の誤解釈を特徴とする稀な心臓病理を伴う臨床症例の包括的解析を行うことである。本研究では、医療的側面のみならず、社会的・心理的影響、例えばスティグマ化や家族、教育機関、職場環境における患者に対する偏見の形成にも特に注目する。

本研究は、臨床診断、社会人道的分析、創造的内省を組み合わせた多層的学際的アプローチが、臨床症例の理解を深め、医療実践における新たな対応モデルの開発にどのように寄与するかを示すことを目的とする。特に、二次的な心理社会的合併症を防ぐための早期かつ正確な診断の重要性、および医療知識を文化的・社会的アプローチと統合する必要性に重点を置く。

材料および方法

患者は1991年から2025年まで医療監督下で治療を受けた。本研究は、医療記録、診断検査結果、学際的カンシリウムの結論、および術後経過観察データに基づく後ろ向き解析として実施された。

1. 研究条件

患者の観察は、以下の専門医療機関において行われた：

- N. K. Krupskaya小児・青年研究所（1991年；現ハルキウ州立臨床小児リハビリテーションセンター） — WPW症候群の初期診断；
- L. T. Malaya国立治療研究所（1996年、2025年） — WPW診断の確認および患者状態の再評価；
- ハルキウ州立精神科病院第1号（2002–2005年） — 症状の誤解釈に基づく「てんかん」診断の確立；

- ハルキウ州立臨床病院（州自治体非営利事業、2025年） — 外来・入院観察、神経外科治療；
- V. T. Zaitsev総合・救急外科研究所（2025年） — 学際的カンシリウム、ラジオ波アブレーション（RFA）計画；
- S. P. Grigoriev医療放射線・腫瘍学研究所（2025年） — 脳腫瘍の追加検査および治療；
- Lozova地域医療協会（非営利事業、2025年） — 上室性不整脈発作時の緊急医療提供。

2. 検査方法

患者状態の包括的評価には、以下の方法を用いた：

- 心臓学的方法：安静時・負荷心電図、24時間ホルター心電図、心エコー、左室駆出率評価、ACC/AHA分類による心不全ステージ判定；
- 神経学・神経外科的方法：磁気共鳴画像（MRI）、コンピュータ断層撮影（CT）、認知機能評価、神経学的診察、術後機能モニタリング；
- 機能的検査：血圧モニタリング、パルスオキシメトリ、心電図動態解析、換気障害評価のための呼吸機能試験；
- 学際的カンシリウム：心臓外科医、神経外科医、神経科医、不整脈専門医、機能診断専門医の関与；
- 社会・法的分析：医療社会専門委員会（MSEC）による患者歴のレビュー、誤診が職業的・社会的権利に及ぼす影響の評価、文化的・社会的活動の心理的レジリエンス要因としての分析。

3. 観察の年表

- 1991年：N. K. Krupskaya小児・青年研究所でWPW症候群を初検出；
- 1996年：L. T. Malaya治療研究所にてWPW診断を確認；
- 2002–2005年：精神科病院において症状の誤解釈に基づき「てんかん」診断を確立；
- 2025年：包括的再評価、認知機能評価、失神発作および術後障害のモニタリング；骨形成的開頭術および右前頭葉未分化型髄膜腫の顕微鏡下切除術を実施；術後モニタリングおよびリハビリテーション；ラジオ波アブレーション（RFA）の計画。

4. 分析の原則

本研究は、後ろ向きおよび前向きアプローチを組み合わせ、臨床・社会・法的・心理学的データを統合して実施された。特に、術前・術後の最小限モニタリング（心電図、パルスオキシメトリ、血圧管理）が、不整脈の早期検出と低酸素症予防に重要であることに注目した[7]。

本臨床例における心機能の定量評価には、シンプソン法を用いて左室駆出率（EF）を算出した。この方法は収縮機能の信頼性の高い評価を提供し、臨床および研究の両方で広く使用されている。このアプローチにより、心室機能の動的变化を時間軸で評価でき、診断精度および治療計画の正確性を向上させることができる。

この式により、臨床医および研究者は心拍出量の効率を定量的に評価できる。EF値が50%未満の場合は一般的に収縮機能障害を示すが、本患者に見られるように駆出率が保持されている場合は、駆出率保持型心不全（HFpEF）に対応し、特有の臨床的および治療的意義を有する。

数学的評価は、神経外科手術前後およびWPW症候群に関連する発作性頻拍時の心機能モニタリングを可能にした（式1参照）。

$$EF(\%) = \frac{EDV - ESV}{EDV} \times 100 \quad (1)$$

ここで、

- EDV — 左室拡張末期容量（mL）

- ESV — 左室収縮末期容量（mL）

出典：[8]

解析は心臓学的パラメータの動態の数学的評価により補完され、臨床経過の追跡や診断・治療方針の正当化が可能となった（表1参照）。

1. 心臓学的パラメータの観察

観察年	HR（bpm）	BP（mmHg）	ECG	備考
1991	110	110/70	WPW現象	N. K. Krupskaya小児・青年研究所
1996	112	115/72	WPW確認	L. T. Malaya国立治療研究所
2005	120	118/75	洞性頻脈	「てんかん」の誤診
2025（術前）	115	120/78	WPW現象、発作性頻拍	ハルキウ州立臨床病院
2025（術後）	115	115/70	洞性頻脈、WPW	術後モニタリング、WPW経過観察、心臓カテーテルラジオ波アブレーション（RFA）

出典：著者作成

心拍数、血圧、および心電図パラメータの継続的モニタリングにより、WPW症候群および併存する不整脈に関連する長期的傾向と急性発作の両方を評価できた。また、過去のデータと最新データの統合により、神経

外科手術およびその後の心臓学的手技（カテーテルによるRFAを含む）が心機能に与える影響の解釈に文脈を提供した。

5. 入院中の客観的および主観的データ

5.1. 主観的訴えおよび臨床症状

- 患者は、日中、夕方、夜間、朝のさまざまな時間帯に発作性の不整脈性呼吸困難が繰り返し発生すると報告した。医療スタッフの対応には不均一性が認められ、勤務時間中は迅速な支援が提供された一方、夕方・夜間および週末には適切な監督へのアクセスが制限されていた。
- この状況下で、患者は配偶者から24時間体制での継続的な社会心理的・生理学的サポートを受けた。この支援は、重度の不整脈エピソード時の合併症リスクを低減し、専門医療が提供されるまで患者の状態の安定化に寄与するという臨床的意義を有した。
- スタッフとの接触時には「これは我々の専門外である」という表現が頻繁に記録され、追加モニタリングの臨床的必要性および学際的アプローチの重要性が示された。

5.2. 医療資材および機器の提供

- 医療の質向上のため、基金はハルキウ州立臨床病院神経外科に対し、車椅子および生理学的パラメータを監視するパルスオキシメータを提供した。使用初期には、部署の組織的特徴および内部手順の不備により効果は限定的であった。
- Lozova地域医療協会治療科（KNP「Lozova Territorial Medical Association」）には、カテーテルおよびその他医療資材が提供され、緊急医療の提供改善および重度不整脈エピソードへの迅速対応が可能となった。

5.3. 入院中の客観的観察

- 手術後、神経外科ICUは修繕作業中であったため、患者は集中治療室に移送されず、一般病棟に入院した。ICU患者は一時的に廊下に収容されていた。
- 一般病棟での滞在は、修繕作業による騒音および病院内他部門からの音響刺激（爆発音や衝撃音を含む）により複合的な心理生理学的ストレスを受け、患者状態に悪影響を及ぼした。
- 神経外科廊下を通じて搬送される死亡患者の遺体の複数事例が記録され、患者安全・生命に対する実際的なリスクを示した。
- 重度呼吸困難および意識消失エピソードに関する包括的記録の欠如や免疫組織化学データの不完全性により、患者状態および術後モニタリングの徹底的評価が困難となった。

- これらの制約にもかかわらず、支援措置および継続的な家族ケアにより、血圧および心拍数の相対的安定期が観察された。

5.4. さらなる治療および組織的側面

患者の今後の管理には、医療的、組織的、社会心理的要素を統合した包括的アプローチが必要である：

- 心臓科ブロック：ラジオ波アブレーション（RFA）、継続的ホルター心電図モニタリング、左室駆出率の管理、心不全ステージ評価、薬物療法の調整；
- 神経外科・腫瘍科ブロック：術後モニタリング、再発の可能性を評価するMRI/CT検査、術後治療戦略の調整のための神経外科医・腫瘍科医との相談；
- 組織的調整：ハルキウ州立臨床病院、L. T. Malaya国立治療研究所、Lozova地域医療協会、Zaicev研究所、Grigoriev研究所間の協力体制確保、24時間医療アクセスおよび資源モニタリング；
- 社会・法的支援：障害レベルの評価、適切なステータスの決定、心理的支援の提供、創作活動の心理的レジリエンス因子としての統合；
- リハビリテーション措置：身体活動のモニタリング、認知リハビリテーション、生活の質向上のための創作活動支援、保養施設での治療、回復プログラム。

結果

1975年生まれの患者は、児童期に痙攣を伴う突発性意識消失の初回エピソードを経験した。身体活動の制限および中等度運動の回避が指導された。1990年以前の外来記録には、胸痛の再発や全身倦怠感など、慢性的な健康障害の存在が示されている。

1991年、患者は初めてウォルフ-パーキンソン-ホワイト（WPW）症候群と診断され、1994年に再確認された。心電図（ECG）検査ではデルタ波の存在およびPQ間隔の短縮が確認され、追加の房室伝導路（ケント束）の存在と、逆行性房室リエントリー性頻拍（AVRT）発症の素因が示された。

2002年から2005年にかけて、心臓学的診断が不十分であったため、患者は精神科施設に「てんかん」と誤診入院され、WPW症候群下で潜在的に有害な薬物が処方された。

観察期間を通じて、患者は失神傾向および心臓不整脈を持続的に示し、長期心電図モニタリングおよび連続ホルター観察で確認された。

心臓学的データ

- 心拍エピソード頻度：児童期に年間20～25回の突発性意識消失が発生し、思春期以降は β 遮断薬やATPで徐々に減少。
- 不整脈の種類：WPW症候群、発作性房室リエントリー性頻拍（AVRT）、周期的洞性頻脈。
- 左室駆出率（LVEF）：2025年手術前58%、手術後56%。心エコー所見により左室収縮機能は保持されている。

患者の心臓学的状態は、WPW症候群および発作性頻拍の再発エピソードが持続していることを示し、連続モニタリングおよびカテーテルアブレーションによる確定的治療の検討が必要である。

神経学・神経外科データ

- MRIおよびCT所見：2025年、右前頭葉に未分化型の脳内腫瘍を検出。
- 術後状態：頭蓋形成術および顕微鏡下腫瘍切除術を施行し、術後期間に神経機能は安定。
- 認知機能評価：術前・術後評価では注意力および記憶保持に最小限の変化のみ認められ、術後認知障害は軽度。
- 小児期手術時の一過性低酸素エピソードの影響：神経発達への長期的影響が示唆され、将来の前向き研究での検討が必要。

神経外科介入により、腫瘍の完全切除、神経学的安定、認知機能保持が可能となり、今後の心臓管理計画において重要な意義を持つ。

機能的および社会心理的データ

- 生命徴候のモニタリング：入院中、主に夕方・夜間に不整脈性呼吸困難エピソードが記録された。勤務時間中は医療スタッフの迅速な対応があったが、夜間および週末には対応の遅延が観察された。
- 支援：医療監督が限られる時間帯に、家族から継続的な社会・心理的支援を受けた。
- 社会心理的活動：患者は創作活動、特に詩作を継続しており、多言語翻訳を含むインタラクティブシリーズ『魂の光』に掲載されている。この活動は心理的レジリエンスを高め、社会適応を促進し、包括的治療戦略における文化的関与の重要性を示す。

創造的表現は心理的レジリエンスの補償メカニズムとして機能し、夜間の医療資源制約は、学際的チームの完全稼働の必要性を強調する。

今後の管理戦略

1. 心臓学的フォローアップ：発作性頻拍の根治のため、ラジオ波アブレーション（RFA）の計画および実施。
2. 神経外科・神経学的フォローアップ：術後モニタリング、認知・運動評価、回復動態の外来観察。
3. 治療提供：24時間緊急医療アクセスの確保。
4. 国立専門機関：学際的臨床カンシリウムへの参加、追加診断検査の実施、術後管理。
5. 社会心理的支援：創作活動の継続と社会文化プロジェクトへの参加。
6. 機器・スタッフモニタリング：夜間・週末シフトでのパルスオキシメータ、車椅子、血圧モニタリングの完全稼働を確保。

心臓学的、神経外科的、社会心理的管理を組み合わせた包括的学際的アプローチにより、失神エピソードの再発リスクを最小化し、患者の社会活動および機能的自立回復に必要な条件が整う。

討論

ウルフ・パーキンソン・ホワイト (Wolff-Parkinson-White, WPW) 症候群の一般的特徴

WPW症候群は、発作性頻拍や心房細動、心停止など重篤な不整脈を引き起こす可能性のある代表的な心臓伝導異常である [9]。

患者マリアンナ・スヴィトザールの臨床例では、心臓と神経の症状が併存して正確な診断を困難にし、「てんかん」という誤診を招いた。臨床研究により、WPW症候群関連の不整脈が、リズム障害による脳低酸素でてんかん様症状を呈することが確認されている [10]。

心臓学的および神経学的症状の併存

本症例は、希少な心疾患の存在、診断上の誤り、医療サービス間の統合不足によって生じる診断上の課題を示している。

WPW症候群は先天性の心臓伝導異常で、追加の房室伝導路（ケント束）により早期心室興奮が生じ、発作性頻拍を引き起こす。

本患者では、青年期における虫垂切除術中の一過性心停止エピソードを伴うWPW症候群の併存により、脳低酸素および神経学的症状のリスクが高まったと考えられる [11]。

発作様症状は、手術中の心停止による臨床的死亡後に生じた低酸素に続発した二次的なものである可能性が高い。完全な記録の欠如により脳損

傷の原因を最終的に確認することは困難であるが、既存の心臓学的データはこの仮説を強く支持している。WPW症候群は、手術やストレス状況によって誘発・増悪することが多く [12]、特に周術期における綿密な心臓モニタリングの重要性を示している。

早期症状と診断上の誤り

病歴分析により、幼少期から痙攣を伴う意識消失が確認された。

完全な医療記録の欠如により詳細な再構成は困難であるが、外来記録からは15歳以前に心臓症状を含む慢性的な健康問題が存在したことが示唆される。虫垂切除後の悪化および麻酔中の循環不全は、一過性脳虚血を示唆しており、低酸素後てんかん様症状を誘発した可能性がある。

2002年から2005年、患者は精神科で「てんかん」と誤診され、カルバマゼピンを投与された。この薬はWPW症候群を悪化させる不整脈を誘発する可能性がある [13]。さらに、身体活動や労働も制限された。

このような症例は、失神発作を呈する小児・青年に対して、心臓学・神経学・精神医学の統合的評価を行う重要性を強調している [14]。

現代の臨床経過

2025年の臨床経過は、多職種連携の必要性を明確に示している。心拍数が毎分250に達する発作性頻拍の長期エピソードは、心臓専門医、電気生理学者、脳神経外科医の同時介入を必要とした。

異形成髄膜腫の顕微鏡的除去を伴う頭蓋形成術により、神経外科的要素が制御され、その後の心臓ラジオ波アブレーション計画によって心臓機能の安定化が図られた [15]。

観察データによれば、術前・術後期間における心電図、パルスオキシメトリ、血圧の最小限のモニタリングが、不整脈の早期発見および脳低酸素の防止に極めて重要である。

夜間の専門医不足やスタッフ責任の分散といった制度的課題は、複雑な心神経疾患患者の包括的管理を担う多職種チーム設立の緊急性を示している [16]。

臨床基準と診断的枠組み

ウクライナ保健省の臨床ガイドラインでは、失神や不整脈を呈する患者に対して心電図検査を必須としている。

本症例では、ホルター心電図、心エコー、ビデオEEGによる包括的評価が、心臓学的および神経学的症状の鑑別に有効であった。さらに温度負荷試験により自律神経の不安定性が確認され、臨床像を複雑化させた。

約30%の症例でWPW症候群はてんかんを模倣しうるため、失神または発作様症状を呈する患者には、心電図、ホルター心電図、心エコーを標準的診断手順として実施すべきである。

このようなアプローチにより、基礎にある心疾患を悪化させる不要な抗てんかん薬の投与を防ぐことができる。

社会文化的側面

医学的制約があっても、患者は創作を続け、『魂の光』シリーズ多言語インタラクティブ詩集に多くの作品を発表している。

これは、芸術的創造が心理的レジリエンスおよび社会的適応の代償機構として機能しうることを示しており、長期治療および不確実な予後の期間において特に重要である [17]。

法的小および倫理的側面

外科的介入および心停止エピソードに関する記録が限定的であることから、低酸素性脳損傷の原因を確認し、障害分類を再評価するために独立した専門家鑑定が推奨される。

腫瘍除去と再発性心原性失神の併存は、障害区分を精神疾患由来から神経心臓学的区分へと再分類する根拠となりうる。

このため、患者の状態を客観的に評価するためには、医療および法的観点を統合した多職種アプローチが必要である。

結論

ウルフ・パーキンソン・ホワイト（Wolff–Parkinson–White, WPW）症候群と低酸素後脳症を併存する患者の臨床例の分析は、実践的小および学術的観点からいくつかの重要な要点を明らかにした。

1. 医学的側面

- WPW症候群の早期かつ正確な診断は、不整脈および重篤な合併症の予防において極めて重要である。
- 失神発作を呈する小児および青年に対して、心電図、24時間ホルター心電図、心エコーによる継続的な心臓モニタリングを行うことにより、心臓性および神経性の症状を適切に鑑別でき、WPW症候群を悪化させる抗けいれん薬の投与を回避できる。
- 神経疾患を併発する患者では、不整脈や周術期の一過性脳低酸素を防ぐため、統合的モニタリングが必要である。

2. 組織的側面

- このような症例の管理には、心臓専門医、電気生理学者、神経内科医、脳神経外科医、精神科医による多職種チームが不可欠である。
- 夜間、休日を含む時間帯における医療アクセスの拡充は、合併症のリスクを低減するうえで極めて重要である。
- 標準化モニタリング機器（パルスオキシメータ、血圧計）の導入とスタッフ教育は、医療の安全性と有効性を高める。

3. 社会心理的および文化的側面

- 患者が多言語インタラクティブ詩集への発表など積極的な創作活動を継続していることは、心理的レジリエンスを支える代償機構として機能し、社会的適応の促進に寄与している。
- 芸術・文化的関与は、重篤な疾患患者の生活の質を高め、心理的緊張を緩和し、良好なリハビリ成果をもたらす。

4. 法的小および倫理的側面

- 誤診および医療資源へのアクセス制限は、障害等級の誤った判定や患者のスティグマ化を招く可能性がある。
- 独立した専門家による鑑定は、低酸素性脳損傷の原因を確認し、障害の程度を客観的に評価する手段として有用であり、精神疾患から神経心臓学的分類への適切な再評価を支援する。
- 頻発する心原性失神は、患者の社会的・医療的地位の再評価を要するため、多職種の枠組みにおける正式な再分類が必要である。

全体的な臨床的および実践的意義

- 本臨床例は、WPW（ウルフ・パーキンソン・ホワイト）症候群と低酸素後脳症を併存する患者の管理の複雑さを明確に示している。
- 本症例は、失神および発作様症状を呈する疾患の診断と治療において、広範な学際的プロトコルを導入する必要性を強調している。
- このようなアプローチは、診断誤りのリスクを最小限に抑え、適時の治療を可能にし、重篤な合併症の発生を防止するものであり、心臓専門医、神経内科医、および一般臨床医にとって直接的かつ実践的な意義を有している。

参考文献

1. ウクライナ保健省（2012年8月3日）．統一臨床プロトコル「成人における心拍リズム障害」（命令第597号）．ウクライナ保健省．
2. Havrushenko, L. V., & Mykhailovska, N. S. (2015)．小児におけるてんかん発作と失神発作の鑑別診断．ウクライナ医療雑誌, 3(107), 68–72.

3. Kostiuk, O. H., & Todurov, B. M. (2019) . 臨床実践における誤診の社会的影響：医療および社会的専門評価. パブリックヘルス, 8(3), 50–56.
4. Dziak, H. V., & Yavorska, O. O. (2017) . 心原性失神状態：診断の困難と学際的アプローチ. 心臓病学：心臓と血管, 1, 12–18.
5. Anderson, R. H., & Ho, S. Y. (2019) . ウルフ・パーキンソン・ホワイト (WPW) 症候群：病態生理および臨床的側面. Heart, 105, 123–130.
6. ウクライナ保健省 (2024) . 心臓伝導障害患者の管理に関する臨床ガイドライン (命令第XXX号) . ウクライナ保健省.
7. ウクライナ保健省 (2021) . 「不整脈リスク患者のモニタリングに関する命令」 (命令第234号) . ウクライナ保健省.
8. Burns, K. V., & Freedman, R. (2023) . 左心室駆出率. In StatPearls [インターネット版] . Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
9. Bilous, P. O. (2019) . WPW症候群：臨床症状および診断上の課題. ウクライナ心臓病学雑誌, 1, 23–29.
10. Cherenko, I. V. (2020) . 小児における不整脈の診断と治療：現状と課題. 心臓病学および内科, 2(15), 45–52.
11. Biletsky, R. S. (2021) . 心停止後の小児における低酸素性脳損傷：臨床例および予後的側面. 医学的展望, 26(4), 112–118.
12. Mironyuk, V. Yu. (2018) . WPW症候群：経過、合併症、および是正の可能性. 21世紀の心臓病学, 4(7), 66–72.
13. Semeniuk, L. I. (2020) . 伝導性不整脈の薬物療法：リスクと臨床上の注意点. 薬理学と医学, 5(12), 78–84.
14. Kozak, O. V. (2017) . 小児および青年における失神：心臓学的および神経学的側面. 小児医学, 1(3), 19–27.
15. Palamarchuk, A. M. (2022) . 失神状態の包括的診断：ホルター心電図、EEG、および心エコーの併用. 現代神経学, 10(2), 51–59.
16. ウクライナ保健省 (2014年2月24日) . 小児における不整脈管理のための統一臨床プロトコル (命令第152号) . キーウ：ウクライナ保健省.
17. Hrynevych, T. O. (2023) . 心神経疾患における障害認定の法的および社会的側面. ウクライナ医事法, 2(19), 33–41.

Блок 3_Соціально-інженерні підходи

Block 3_Socio-Engineering Approaches

Цей блок присвячений дослідженню соціально-інженерних підходів у розвитку інклюзивних середовищ та управлінні об'єктами й інфраструктурою. Основна увага зосереджена на аналізі соціальних процесів і визначенні потенціалу розвитку спільнот через інтеграцію інноваційних методів планування та дослідження.

This block focuses on socio-engineering approaches for developing inclusive environments and strategies for managing infrastructure and facilities. Emphasis is placed on analyzing social processes and identifying community development potential through the integration of innovative planning and research methods.

Особливу увагу приділено створенню інклюзивного середовища, яке враховує потреби різних груп населення. Розглядаються практичні аспекти адаптації простору для забезпечення рівного доступу та підтримки соціальної інтеграції, а також підходи до розвитку потенціалу громад шляхом участі мешканців у плануванні та прийнятті рішень.

Special attention is given to creating inclusive environments that address the needs of diverse population groups. Practical aspects of spatial adaptation are considered to ensure equal access and support social integration, as well as approaches for community development through resident participation in planning and decision-making.

Крім того, блок охоплює технічні та організаційні аспекти забезпечення теплової стійкості об'єктів і стратегій їх маскування. Це поєднує соціальні та інженерні рішення, підвищуючи ефективність управління, безпеку та стійкість розвитку громад.

Furthermore, the block addresses technical and organizational aspects of ensuring heat resistance of facilities and strategies for their camouflage. This combination of social and engineering solutions enhances management efficiency, safety, and sustainable community development.

Використання аналітичних платформ, моделей прогнозування та цифрового планування дозволяє оптимізувати управління ресурсами, підвищити ефективність прийняття рішень і забезпечити більш точну оцінку впливу соціальних та технічних стратегій на розвиток громад.

The use of analytical platforms, predictive models, and digital planning enables optimized resource management, improves decision-making efficiency, and provides a more accurate assessment of the impact of social and technical strategies on community development.

[UA_4]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Інклюзивне середовище та потенціал розвитку

Анотація

Розвиток та формування інклюзивного середовища є фундаментальними складовими сучасного суспільного, освітнього та урбаністичного прогресу [1,2]. Забезпечення рівного доступу до освітніх, соціальних, культурних та цифрових ресурсів для осіб із різними можливостями та віковими групами значно сприяє соціальній згуртованості, реалізації особистісного потенціалу та зміцненню інституційної стійкості [3,4]. В умовах глобальних криз, воєнних дій та швидких технологічних трансформацій виникає нагальна потреба у створенні ефективних та сталих механізмів інклюзії [5].

Дослідження визначає ключові чинники ефективного інклюзивного середовища та пропонує практичні, науково обґрунтовані рекомендації для його впровадження у соціальному, освітньому та урбаністичному контекстах [1,4]. Завдання дослідження включають комплексний аналіз сучасних теоретичних концепцій інклюзії [2], оцінювання міжнародних стандартів і кращих практик [5], виявлення структурних та операційних бар'єрів [3], а також розроблення практичних рішень із використанням цифрових платформ та просторових інструментів [4].

Методологія базується на міждисциплінарному підході, який поєднує соціологічні, освітні, урбаністичні та цифрові методи дослідження [1,2]. Збір і

аналіз даних передбачав експертні опитування, оцінювання фізичної та цифрової доступності та застосування критеріїв оцінки ефективності інклюзивного середовища [5].

Результати показують, що ефективна інклюзія досягається через координацію просторових, соціальних і цифрових рішень, активну участь зацікавлених сторін, системне планування та підтримку інноваційних практик [4,1]. Практична значущість полягає у наданні структурованих рекомендацій закладам освіти, громадським організаціям та органам державної влади для підвищення рівня інклюзивності та доступності. Наукова новизна забезпечується комплексною оцінною моделлю, що поєднує міжнародні стандарти з національними практиками та інтегрує передові цифрові технології [2,4].

Ключові слова: інклюзія, інклюзивне середовище, доступність, соціальні інновації, цифрові технології, міждисциплінарність, освітні практики.

Вступ

Інклюзивне середовище є фундаментальним елементом соціальної інтеграції та сталого розвитку сучасних спільнот [1,2]. Це поняття охоплює не лише фізичну інфраструктуру освітніх закладів, громадських установ та культурних центрів, а й прилеглі відкриті простори — парки, дитячі майданчики, пішохідні зони та інші території громадського користування. Інклюзивність також поширюється на цифрові середовища та інформаційну інфраструктуру, забезпечуючи комплексну доступність у фізичному та віртуальному вимірах [5]. Створення таких умов гарантує рівний доступ для всіх соціальних груп, з особливим урахуванням потреб осіб з обмеженою мобільністю та людей з інвалідністю, сприяючи їхній повноцінній участі у громадському, освітньому та культурному житті [3,4].

У сучасних умовах воєнних конфліктів, соціальних криз і швидкого технологічного розвитку нагальна потреба у багатовимірному підході до інклюзії стає все більш очевидною [4,1]. Розвиток інклюзивного середовища потребує дотримання нормативно-правових актів і технічних стандартів, зокрема ДБН В.2.2-40:2018 “Будинки і споруди. Доступність будинків і споруд для маломобільних груп населення” [6], а також інших національних і міжнародних стандартів, що регулюють питання доступності та безбар’єрного простору [6]. Ці документи формують правову та технічну основу для забезпечення того, щоб міські та інституційні простори відповідали всім суспільним потребам.

Наукова та практична значущість дослідження полягає у здатності інтегрувати просторові, соціальні та цифрові рішення в єдину концептуальну

модель інклюзивного розвитку. Зокрема, створення інклюзивного середовища забезпечує:

- Універсальний доступ до освітніх, соціальних та культурних ресурсів, що дозволяє кожній людині повноцінно взаємодіяти з інституціями суспільства.
- Розвиток особистісного потенціалу через сприяння навчанню, самореалізації та соціальному залученню.
- Інтеграцію міжнародних стандартів із локальними практиками, що дозволяє урбаністам, педагогам і управлінцям гармонізувати світові кращі практики з контекстними особливостями [5,4].

Основна мета дослідження полягає у визначенні ключових чинників ефективного інклюзивного середовища та формулюванні практичних рекомендацій щодо його впровадження у різних соціальних, освітніх та урбаністичних контекстах [1]. Для досягнення цієї мети визначено такі завдання:

- Провести комплексний аналіз сучасних концепцій інклюзії, із висвітленням теоретичних основ та міждисциплінарних підходів.
- Оцінити міжнародні та національні стандарти доступності щодо правової обов'язковості, практичної застосовності та відповідності вимогам.
- Ідентифікувати бар'єри, з якими стикаються особи з обмеженою мобільністю, включно з фізичними, соціальними, культурними та цифровими перешкодами.
- Дослідити практичні рішення, що поєднують просторове планування, архітектурний дизайн і цифрові платформи для забезпечення інклюзивної участі та рівного доступу.

Послідовна реалізація цих завдань сприятиме розвитку інклюзивного підходу у політиці, проектуванні та громадському управлінні. Дослідження підкреслює тісний взаємозв'язок між доступністю, соціальною рівністю та сталим розвитком, визначаючи інклюзію не лише як правовий чи етичний обов'язок, але й як стратегічну передумову розвитку сучасного суспільства.

Теоретичний огляд

Поняття та визначення інклюзії

Інклюзія визначається як багатовимірний та динамічний процес, спрямований на створення умов, що забезпечують рівний доступ, активну участь і ефективне залучення всіх соціальних груп у соціальні, освітні, культурні та урбаністичні процеси розвитку [1,4]. Концепція включає не лише фізичну доступність будівель, внутрішніх і прилеглих громадських просторів, а й комплексну інтеграцію цифрових, інформаційних та комунікаційних ресурсів, що сприяє повноцінній участі осіб з обмеженою мобільністю, людей

з інвалідністю, осіб похилого віку, а також інших маргіналізованих або недостатньо представлених груп [3]. Інклюзія забезпечує не тільки подолання фізичних бар'єрів, але й формування соціальних умов, що сприяють взаємній підтримці, залученню до прийняття рішень і розвитку міжособистісних навичок.

Крім того, інклюзія спрямована на зміцнення соціальної справедливості, розширення можливостей особистісного розвитку та підвищення рівня соціальної взаємодії. Вона формує згуртоване, партисипативне та взаємопідтримувальне суспільство, де всі учасники можуть брати активну участь у житті громади, освітніх процесах, культурних заходах та урбаністичних ініціативах. Такий підхід забезпечує комплексне оцінювання потреб різних груп населення і сприяє більш ефективному плануванню та впровадженню стратегій інклюзивного розвитку на локальному та національному рівнях.

Кількісна оцінка інклюзивності

Показник інклюзивності (І) є комплексним кількісним індикатором, призначеним для оцінювання рівня інклюзивності конкретного середовища та аналізу його складових. Його застосування дозволяє зацікавленим сторонам, політикам, урбаністам та адміністраторам освітніх і громадських установ всебічно та об'єктивно оцінювати фізичну, соціальну та цифрову доступність, а також ступінь активної участі різних груп населення. Інтеграція цього показника у процеси планування, моніторингу та оцінки політик дає змогу визначати слабкі місця в інклюзивній практиці, порівнювати різні простори між собою та оцінювати ефективність реалізованих заходів.

Зокрема, компонент Р — фізична доступність оцінює наявність пандусів, ліфтів, тактильних поверхонь, адаптованих входів та прилеглих територій. Наприклад, університети, де більшість будівель пристосовано для маломобільних груп, отримують високі оцінки, тоді як старі державні установи часто демонструють значні бар'єри для доступу. Компонент S — соціальна інтеграція та участь включає доступність комунікацій, наявність допоміжних служб і участь громад у прийнятті рішень. Наприклад, культурні центри, що забезпечують переклад жестовою мовою та програму для людей похилого віку, отримують вищі оцінки за цей компонент. Компонент D — цифрова доступність враховує відповідність вебресурсів стандартам WCAG, наявність адаптивних інтерфейсів та інтеграцію допоміжних технологій. Наприклад, міські портали, сумісні з екранними зчитувачами та голосовими помічниками, демонструють високий рівень цифрової інклюзії.

Використання цього показника забезпечує наукову основу для планування інфраструктурних, соціальних та цифрових проєктів, гарантує

рівні можливості для всіх учасників і створює критерії для порівняльного аналізу середовищ. Це дозволяє формувати практичні рекомендації для підвищення інклюзивності та сталості розвитку різних типів середовищ (формула 1):

$$I = w_1P + w_2S + w_3D \quad (1)$$

де:

- w_1, w_2, w_3 - вагові коефіцієнти, що відображають відносну пріоритетність та контекстну значущість кожного компонента;
- P - фізична доступність, що охоплює будівлі, внутрішні простори та прилеглі громадські території;
- S - соціальна інтеграція та участь, що характеризує ступінь залученості всіх груп до суспільного, освітнього й культурного життя;
- D - цифрова доступність, яка включає онлайн-платформи, інформаційні системи та технологічні інструменти, необхідні для повноцінної участі.

Джерело: власна розробка

Запропонована модель поєднує нормативні, практичні та аналітичні підходи, ґрунтуючись на міжнародних рекомендаціях [1], директивах ООН, ЄС, ВООЗ, а також національних стандартах України [6], які регламентують вимоги до безбар'єрного середовища та універсального дизайну. Її концепція спрямована на формування інтегрованого механізму оцінювання інклюзивності, що базується на поєднанні кількісних та якісних показників, узгоджених із принципами сталого розвитку, рівності можливостей та партисипативного управління.

Такий підхід дозволяє проводити порівняльний аналіз між установами різних рівнів — від закладів освіти до муніципальних інфраструктурних систем, — а також визначати пріоритетні напрями модернізації. Системна інтеграція показника інклюзивності (І) у стратегії розвитку громад, університетів та урбаністичних проєктів сприяє не лише контролю якості середовища, а й підвищенню ефективності використання ресурсів, соціальній згуртованості та підзвітності органів влади.

Модель також має прогностичну цінність: на основі зібраних даних вона дає змогу виявляти критичні дисбаланси, визначати групи ризику та моделювати сценарії покращення інклюзивності у довгостроковій перспективі. Для практиків — урбаністів, освітніх адміністраторів, архітекторів, фахівців соціальної політики — цей інструмент може слугувати основою для прийняття управлінських рішень, обґрунтування фінансування, формування програм адаптації та впровадження технологічних рішень у сфері «розумних» міст. Таким чином, розроблена модель забезпечує комплексну

оцінку доступності та участі, водночас підсилюючи науково-доказову базу для реалізації національної стратегії інклюзивного розвитку України (табл. 1).

Таблиця 1. Основні компоненти та приклади оцінювання показника інклюзивності

Компонент	Змістовна характеристика	Приклад оцінки (0–1)	Джерело оцінки
P — Фізична доступність	Наявність пандусів, ліфтів, тактильних поверхонь, адаптованих входів, парків і пішохідних зон	0,8 – університети, де більшість будівель пристосовано, але залишаються дрібні недоліки	ДБН В.2.2-40:2018
S — Соціальна інтеграція та участь	Доступність комунікацій, наявність допоміжних служб, інклюзивність програм та участь у прийнятті рішень	0,9 – культурні центри, що забезпечують переклад жестовою мовою та програми для осіб похилого віку	Опитування, внутрішній моніторинг
D — Цифрова доступність	Відповідність вебресурсів стандартам WCAG, наявність допоміжних технологій, адаптація під мобільні пристрої	1,0 – міський онлайн-портал, сумісний з екранними зчитувачами	WCAG 2.1, ISO/IEC 40500

Джерело: власна розробка на основі [6, 7]

Пояснення компонентів моделі

1. Вагові коефіцієнти (w_1, w_2, w_3)

Вагові коефіцієнти відображають відносну важливість кожного компоненту в певному соціальному, освітньому або урбаністичному контексті. Їх використання дає змогу адаптувати модель до конкретного середовища, враховуючи потреби різних груп користувачів.

Наприклад, у закладах освіти ключовими є параметри w_1 (фізична доступність) та w_3 (цифрова доступність), адже ефективне навчання потребує одночасно безбар'єрного простору та якісної інтеграції ІТ-рішень. Натомість у культурному або міському середовищі більшого значення набуває w_2 (соціальна участь), оскільки йдеться про інклюзивність спільнот, комунікацій та публічних заходів.

Для стандартизації сума ваг нормується до одиниці (формула 2):

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (2).$$

2. Фізична доступність (P)

Параметр Р охоплює оцінку архітектурних, просторових та конструктивних рішень, які забезпечують вільний рух і комфорт усіх груп користувачів. Основними елементами є пандуси, ліфти, тактильні елементи, контрастне освітлення, доступні входи, зони відпочинку та інші засоби універсального дизайну.

Оцінювання здійснюється відповідно до положень ДБН В.2.2-40:2018 [6] і міжнародних норм ISO та EN, що гарантують однакові стандарти інклюзивного простору у транскордонному контексті.

3. Соціальна інтеграція і участь (S)

Компонент S визначає рівень соціальної включеності та взаємодії різних груп населення. Він враховує наявність допоміжних служб, доступність комунікаційних каналів, адаптованість програм, участь у прийнятті рішень та відкритість до міжкультурного діалогу.

Соціальна інтеграція є показником не лише фізичної присутності, а й реальної участі, що створює передумови для розвитку громадської активності та довіри між членами спільноти.

4. Цифрова доступність (D)

Цей параметр охоплює доступ до онлайн-платформ, сервісів і цифрових ресурсів, а також відповідність вебсайтів стандартам WCAG 2.1 [7]. Враховується наявність адаптивних технологій для користувачів із порушеннями зору, слуху чи моторики, можливість роботи через мобільні пристрої, а також забезпечення зрозумілих інтерфейсів.

Розвиток цифрової інклюзії безпосередньо сприяє рівноправній участі у навчанні, працевлаштуванні, громадських ініціативах та доступі до адміністративних послуг. (рис. 1).



Рис. 1. Схематичне представлення моделі показника інклюзивності
Джерела: власна розробка

Практичне застосування моделі:

- **Міське планування:** обчислення І для публічних просторів дозволяє визначати пріоритети щодо покращення інфраструктури, встановлення

пандусів, створення безпечних маршрутів громадського транспорту, розвитку цифрових сервісів та онлайн-комунікацій.

- **Освітні заклади:** університети можуть застосовувати показник для оцінки доступності кампусу, якості цифрової взаємодії, адаптації навчальних програм та рівності участі студентів.
- **Державна політика:** органи влади можуть використовувати І як індикатор моніторингу виконання міжнародних і національних стандартів доступності, оптимізації розподілу ресурсів і визначення ефективності реалізації програм інклюзивного розвитку.

Інтерпретація результатів.

Вищі значення показника *I* свідчать про більш інклюзивне середовище, де фізичні, соціальні та цифрові аспекти реалізовані комплексно. Модель дає змогу порівнювати установи, міста чи регіони, визначати сильні сторони, формулювати рекомендації та прогнозувати напрями удосконалення.

Таким чином, модель забезпечує структурований, вимірюваний і контекстно чутливий підхід до оцінки інклюзивності, переводячи її з площини якісних суджень у кількісно підтверджувану, науково обґрунтовану систему оцінювання.

Інклюзивне середовище та потенціал розвитку: міжнародні стандарти і практики

Принцип інклюзії закріплений у ключових міжнародних конвенціях та нормативних документах, що формують єдину правову основу для забезпечення рівного доступу й участі в соціальній, освітній, культурній та урбаністичній сферах.

1. **Конвенція ООН про права осіб з інвалідністю** [3] гарантує право на освіту, культуру й соціальні послуги без дискримінації. Вона зобов'язує держави забезпечувати універсальну доступність і усувати фізичні, соціальні та інформаційні бар'єри.

Особливий акцент зроблено на участі осіб з інвалідністю у процесах прийняття рішень, що утворює інклюзію як правовий і гуманітарний принцип.

2. **Ініціатива ЮНЕСКО «Освіта для всіх»** [1] спрямована на створення інклюзивних навчальних програм, підготовку педагогів, формування адаптивного освітнього середовища та підтримувальних політик, що забезпечують розкриття потенціалу кожного здобувача освіти.

Інклюзивна педагогіка сприяє як академічним результатам, так і соціальній інтеграції, долаючи нерівність за фізичними, когнітивними чи соціально-економічними ознаками.

3. **Керівні принципи Європейської Комісії щодо інклюзивної освіти та доступності громадського простору** [5] пропонують методологічну основу для розвитку інклюзивних освітніх систем і міських середовищ через поєднання архітектурної, соціальної та цифрової доступності.

Документ також передбачає впровадження механізмів моніторингу, що дають змогу оцінювати відповідність стандартам і результативність реалізації інклюзивних стратегій.

Вплив на політику та практику:

Міжнародні стандарти задають орієнтири для національного законодавства й інституційних стратегій, інтегруючи фізичні, соціальні та цифрові аспекти доступності.

Їхнє дотримання сприяє ухваленню рішень на основі доказів, підвищує підзвітність і гармонізує підходи до інклюзії між країнами та секторами.

Таким чином, виконання цих норм дає змогу урядовим структурам, освітнім закладам і фахівцям з урбаністики створювати середовище, що не лише відповідає правовим зобов'язанням, а й забезпечує соціальну рівність, участь і сталий розвиток.

Бар'єри та виклики інклюзивного середовища

Попри зростання уваги до інклюзії, низка перешкод продовжує обмежувати повноцінну участь різних соціальних груп у навчальному, культурному, соціальному та урбаністичному середовищі. Ці бар'єри класифікуються за чотирма взаємопов'язаними вимірами: фізичним, соціальним, цифровим та культурним.

Фізичні бар'єри охоплюють недоступність будівель, громадських просторів та внутрішніх приміщень (відсутність пандусів, ліфтів, тактильних покажчиків, достатньої ширини дверних прорізів), що обмежує мобільність осіб з інвалідністю та людей похилого віку й опосередковано впливає на соціальну участь.

Соціальні бар'єри включають стереотипи, низький рівень обізнаності та недостатню підтримку громади, що призводить до виключення з процесів ухвалення рішень та обмеженого доступу до наставництва та соціальних мереж.

Цифрові бар'єри проявляються у недосконалому дизайні онлайн-платформ, відсутності допоміжних технологій та неадаптивних цифрових інструментах, що перешкоджає освітній, професійній та громадянській участі.

Культурні бар'єри виникають, коли програми чи сервіси не враховують етнічні, мовні, вікові чи культурні відмінності, створюючи нерівний доступ і знижуючи рівень участі.

Інтегрований підхід: Подолання цих бар'єрів потребує багатовимірної стратегії, що поєднує нормативно-правове регулювання, розвиток інфраструктури, соціальну адвокацію та технологічні інновації. Орієнтири та міжнародні практики забезпечують методологічну основу для системного усунення бар'єрів. Комплексні інтервенції зміцнюють соціальну згуртованість, розширюють можливості для всіх громадян і сприяють сталому розвитку, перетворюючи інклюзію з нормативного принципу на практичну соціальну реальність.

Методологія оцінки інклюзивного середовища

Дослідження виконано міждисциплінарним підходом, що об'єднує соціологію, освіту, урбаністику та цифрові методи [1, 4]. Рамка дозволяє комплексно оцінювати фізичну доступність, соціальну участь, цифрову інтеграцію та потенціал розвитку користувачів [5, 2], враховуючи взаємодію структурних, соціальних та технологічних чинників.

Оцінка інклюзивності здійснювалася за трьома ключовими компонентами, що формують Індекс інклюзивності (І):

1. **Фізична доступність (P):** будівлі, внутрішні приміщення, прилеглі громадські території та пішохідні зони; основні елементи — пандуси, ліфти, навігаційні покажчики, безбар'єрні входи [6].
2. **Соціальна участь (S):** залучення осіб з обмеженою мобільністю в освітні, культурні та громадські заходи; оцінка здійснювалася через рівень участі, задоволеність користувачів та підтримку громади [4].
3. **Цифрова доступність (D):** доступ до цифрових платформ, онлайн-сервісів і інформаційних ресурсів; оцінка — зручність користування, сумісність із допоміжними технологіями та наявність інструкцій для користувачів [5].

Методи збору даних: опитування експертів та користувачів, просторові аудити (польові та цифрові), порівняльні кейс-дослідження локальних і міжнародних практик [5, 4].

Критерії оцінки: фізичний доступ, соціальна інтеграція, цифрова інклюзія, інноваційність та потенціал розвитку користувачів.

Ця методологічна рамка забезпечує стислу, багатовимірну оцінку інклюзивності та надає практичні рекомендації для урбаністів, політиків, педагогів і лідерів громадських ініціатив.

Практичні результати

Для комплексної оцінки рівня інклюзивності середовищ проведено польове дослідження в низці репрезентативних установ України — навчальних закладах, лікарнях, органах публічних послуг і прилеглих територіях громадського користування.

Методика включала поєднання кількісного спостереження, просторового картування доступності та якісного аналізу зворотного зв'язку користувачів, що дало змогу оцінити не лише фізичну, а й перцепційну (сприйману) доступність.

Основну увагу зосереджено на маломобільних групах населення — особах з інвалідністю, літніх громадянах і користувачах із тимчасовими обмеженнями руху.

Окремим напрямом стало вивчення цифрової та інформаційної доступності, що визначає можливості участі громадян у гібридних соціальних і освітніх процесах, особливо актуальних у контексті післявоєнного відновлення.

Фізична доступність

Результати показали, що більшість досліджених об'єктів частково відповідають вимогам ДБН [6], виявляючи розрив між нормативними положеннями та реальними умовами експлуатації. Основні недоліки згруповано за чотирма взаємопов'язаними напрямками:

1. Недостатня адаптація входів і внутрішніх приміщень
 - У багатьох будівлях пандуси відсутні або мають надмірний кут нахилу, що робить їх небезпечними.
 - Вузькі коридори й двері обмежують пересування, особливо у старих спорудах.
2. Обмежений доступ до основної інфраструктури та комунальних приміщень
 - Доступні санітарні кімнати наявні переважно у нових спорудах; навігаційні покажчики та тактильне маркування практично відсутні.
3. Недоступність прилеглих територій та зон спільного користування
 - Нерівні тротуари й обмежені під'їзди ускладнюють пересування.
 - Відсутність поручнів і захисних елементів підвищує ризик травм.
 - Недостатньо продумане планування публічних просторів сприяє соціальній ізоляції маломобільних осіб.
4. Вплив фізичних бар'єрів на соціальну інтеграцію та інклюзію
 - Низький рівень фізичної доступності зменшує можливості для навчання, культурного та соціального життя.
 - Фізичні перепони часто супроводжуються психологічними бар'єрами, що знижують мотивацію користувачів.

Інтегрований аналіз свідчить про нагальну потребу у системному оновленні інфраструктури.

Ці заходи мають створити стійку та інклюзивну інфраструктуру, що гарантує комфорт, безпеку та активну участь маломобільних груп населення у соціальному житті (табл. 2).

Таблиця 2: Фізична доступність закладів та прилеглих територій

Тип закладу	Група населення	Відповідність ДБН	Виявлені бар'єри	Джерело даних
Школа	Учні з інвалідністю	Часткова	Відсутність пандусів на головному вході; вузькі коридори	Польове дослідження
Лікарня	Літні особи, люди з обмеженою мобільністю	Часткова	Обмежена кількість ліфтів; недоступні туалети	Польове дослідження
Органи влади	Загальна публіка, користувачі візків	Низька	Нерівні тротуари; погане маркування	Польове дослідження
Культурний центр	Всі користувачі	Часткова	Пандуси є, але круті; обмежена кількість місць для літніх	Польове дослідження

Джерело: власна розробка

Отримані результати мають прикладне значення для розроблення політик міської інклюзії та програм відновлення інфраструктури.

Наукова новизна полягає в інтеграції польових спостережень, користувацьких оцінок і нормативного аналізу у єдину модель оцінювання, що відповідає принципам Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю та Цілі сталого розвитку № 11 — Сталий розвиток міст і громад.

Соціальна участь та інтеграція

Особи з порушеннями опорно-рухового апарату залишаються недостатньо представленими у соціальній, освітній та культурній сферах через вплив фізичних, психологічних та організаційних бар'єрів. Обмежена доступність міської інфраструктури — відсутність пандусів, ліфтів, адаптованого транспорту, а також нерівні поверхні та вузькі проходи — значно ускладнює мобільність і суспільну активність. Психологічні чинники, зокрема страх травмування, відчуття залежності та стійкі соціальні стереотипи, посилюють ізоляцію таких осіб. Інституційні та організаційні недоліки — слабка координація між установами, недостатність програм підтримки та відсутність комплексної інформаційної взаємодії — поглиблюють соціальне відчуження та перешкоджають повноцінній інтеграції людей з інвалідністю у життя громади.

Подолання цих багатовимірних бар'єрів потребує системного та міждисциплінарного підходу, який поєднує технологічні інновації із

соціальною та психологічною підтримкою. Впровадження асистивних технологій — розумних засобів мобільності, адаптованої інфраструктури та цифрових платформ доступності — відіграє ключову роль у відновленні самостійності та активної участі осіб з інвалідністю. Не менш важливими є програми реабілітації та соціальної інтеграції, спрямовані на розвиток самодостатності, психологічної стійкості та можливостей працевлаштування. У цьому контексті співпраця між органами влади, громадянським суспільством і міжнародними партнерами є визначальним чинником у створенні інклюзивного середовища та сталих мереж реабілітаційної підтримки.

Методологічна основа: Результати отримані на основі польових спостережень, структурованих опитувань і аудитів доступності, проведених у навчальних, медичних та адміністративних установах України. Використано змішаний підхід — поєднання кількісних і якісних методів аналізу, що дозволило комплексно оцінити не лише рівень фізичної доступності, а й соціальний досвід користувачів.

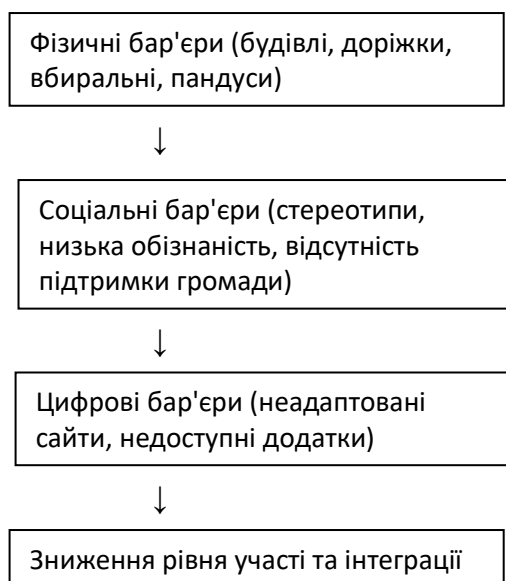
Наслідки: Сукупний вплив бар'єрів знижує рівень залученості у навчальний процес, культурне життя та зайнятість, обмежує можливості самореалізації й порушує конституційне право на рівний доступ. Тривала соціальна ізоляція негативно впливає на самооцінку, комунікаційні навички та громадянську ідентичність, зменшуючи стійкість і згуртованість громади.

Інноваційні рекомендації:

- Створення комплексних мереж супровідних сервісів (асистенти, волонтери, соціальні працівники), підготовлених за принципами інклюзивної взаємодії.
- Посилення співпраці між органами місцевого самоврядування, громадськими організаціями та навчальними закладами для розроблення доступних програм.
- Підвищення інформаційної доступності через адаптовані цифрові ресурси, тактильні навігаційні системи, мультимовні матеріали та підтримку assistive-технологій.
- Проведення інформаційно-просвітницьких кампаній, спрямованих на зниження соціальної стигми, популяризацію інклюзивних цінностей та формування суспільної культури доступності.

Запропонована модель демонструє інтегрований підхід до соціальної інклюзії, що виходить за межі архітектурної доступності та розглядає її як багаторівневий суспільний процес, який потребує міждисциплінарної координації та доказового управління. Вона узгоджується з принципами

Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю, європейськими стандартами доступності та Цілями сталого розвитку (ЦСР 10 і 11). (рис. 2).



Джерело: власна розробка

Рис. 2. Взаємозв'язок фізичних, соціальних та цифрових бар'єрів, що знижують участь

Пояснення: Ця блок-схема ілюструє, як фізичні, соціальні та цифрові бар'єри взаємодіють, посилюючи обмеження та знижуючи загальний рівень участі маломобільних осіб. Модель базується на міжнародних рекомендаціях та національних стандартах доступності, підкреслюючи неподільний характер бар'єрів, які потребують одночасного комплексного вирішення.

Цифрова доступність та інноваційні рішення

Цифрова доступність в Україні залишається фрагментованою та такою, що не відповідає сучасним міжнародним стандартам. Значна частина вебсайтів державного і приватного секторів, а також мобільних застосунків, не адаптована для осіб з інвалідністю, зокрема людей старшого віку та осіб із сенсорними або когнітивними порушеннями. Наразі інтерактивні карти, голосові підказки, адаптивні інтерфейси та модулі зчитування тексту впроваджуються лише у кількох великих містах і мають переважно локальний, ізольований характер. Відсутність єдиної національної системи цифрової інклюзії стримує формування інтегрованого, орієнтованого на користувача середовища електронних послуг, доступного для всіх громадян незалежно від їхніх фізичних чи когнітивних особливостей.

Для подолання цих диспропорцій необхідне впровадження системного моніторингу рівня цифрової інклюзивності, який поєднує технічні, соціальні та організаційні показники. Такий підхід дозволяє здійснювати кількісну оцінку рівня доступності цифрових платформ, а також визначати ефективність

реалізації державної політики на місцевому та національному рівнях, створюючи обґрунтовану основу для ухвалення управлінських рішень і пріоритизації інвестицій у сфері інклюзивних технологій.

Для системної оцінки цифрової доступності застосовується кількісний підхід, що дозволяє визначити пріоритетність упровадження адаптивних технологій для різних категорій користувачів (формула 3).

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n a_i v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (3)$$

де:

- a_i - доступність конкретної цифрової послуги (1 = доступна, 0 = недоступна);
- v_i - вага або значущість послуги для конкретної групи користувачів;
- n - кількість оцінених послуг;
- D - загальний показник цифрової доступності.

Формула 3. Системна оцінка цифрової доступності

Цей метод дозволяє не лише оцінювати наявність базових функцій доступності, а й визначати відносну важливість кожного сервісу для соціально інтегрованої участі громадян. Наприклад, для осіб із порушеннями зору пріоритетними є голосова навігація та сумісність із програмами читання екрану, тоді як для людей із порушеннями опорно-рухового апарату — адаптивні інтерфейси та інтерактивні карти з мінімальною потребою у взаємодії через сенсорні екрани.

В Україні цифрову доступність регламентують Державні будівельні норми (ДБН) [6], які визначають технічні вимоги до об'єктів і цифрових сервісів для осіб з інвалідністю. На міжнародному рівні відповідні стандарти закріплено у нормативах Європейської комісії з цифрової інклюзії [5]. Попри наявність нормативної бази, впровадження інноваційних рішень залишається обмеженим через фрагментованість системи, нестачу фінансування та кваліфікованих фахівців у сфері адаптивного дизайну.

Для вирішення проблеми необхідна комплексна стратегія, що передбачає:

1. Розробку єдиних цифрових платформ із урахуванням принципів доступності;
2. Моніторинг та оцінку рівня доступності за кількісними показниками;
3. Підготовку спеціалістів у сфері цифрової інклюзії та UX-дизайну для осіб з інвалідністю;
4. Співпрацю державного, громадського та приватного секторів для поширення інноваційних рішень.

Такий комплексний підхід не лише забезпечує реалізацію конституційного права громадян на доступ до інформації, а й сприяє

соціальної інтеграції, підвищенню ефективності державних послуг та розвитку інноваційного середовища в Україні.

Обговорення

Аналіз ефективності інклюзивних рішень

Емпіричні дані свідчать, що заходи з фізичної, соціальної та цифрової інклюзії в Україні впроваджуються фрагментовано та без системного підходу. Незважаючи на наявність нормативно-правових рамок і технічних стандартів [5] та Конвенція ООН [3], практична реалізація цих норм у різних регіонах і типах установ залишається непослідовною.

Фізичні заходи — пандуси, розширені дверні прорізи та доступні санітарні приміщення — впроваджуються переважно у новозбудованих об'єктах або в межах міжнародних проєктів технічної допомоги. У той же час більшість існуючих споруд лишаються недоступними для осіб із обмеженою мобільністю.

Соціальні ініціативи обмежуються короткостроковими локальними проєктами та громадськими акціями, часто без сталого інституційного забезпечення. Цифрові рішення — адаптивні вебсайти, мобільні додатки та системи голосової підтримки — здебільшого сконцентровані у великих містах і не інтегровані системно в регіональну чи сільську інфраструктуру.

Наслідком цього є низька загальна ефективність інклюзії, що підтверджується комплексним індексом інклюзивності ($I < 0,5$) для більшості опитаних установ.

Фактори успішної інтеграції інклюзії

Аналіз національної практики та міжнародного досвіду вказує на кілька ключових чинників ефективної інтеграції інклюзії:

- 1. Комплексний та багатовимірний підхід.** Найбільш ефективні системи інклюзії поєднують фізичні покращення, соціальні механізми підтримки та цифрові рішення у єдину інтегровану структуру [5].
- 2. Професійне навчання та нарощування потенціалу.** Персонал у сфері освіти, охорони здоров'я та адміністрації має володіти компетенціями з інклюзивної комунікації, управління доступністю та асистивними технологіями. Регулярні навчальні програми забезпечують стійкість інклюзивних практик.
- 3. Залучення громади та зацікавлених сторін.** Включення волонтерів, НУО, соціальних партнерів та кінцевих користувачів до планування, реалізації та моніторингу проєктів підвищує їхню легітимність та практичну релевантність.
- 4. Нормативна та правова підтримка.** Дотримання національних будівельних норм і стандартів доступності має бути обов'язковим на всіх

етапах проектування, реконструкції та державних закупівель. Включення цих вимог у муніципальні регламенти підвищує довгострокову ефективність і підзвітність.

Виклики масштабування та сталості

Системне масштабування інклюзивних ініціатив ускладнюється:

- **Фінансові обмеження.** Модернізація старих будівель, оновлення громадських просторів і цифрових сервісів потребує значних інвестицій.
- **Фрагментація ініціатив.** Багато проєктів залишаються ізольованими та короткостроковими, без інтеграції в ширші програми розвитку.
- **Інституційні та адміністративні прогалини.** Слабка координація між державними органами, місцевою владою та громадськими організаціями знижує узгодженість політики.
- **Культурні та соціальні бар'єри.** Стереотипи та обмежене розуміння потреб осіб з інвалідністю перешкоджають створенню інклюзивного середовища.

Роль партнерства державного, приватного та громадського секторів

Ефективна інклюзія вимагає трисекторного партнерства:

- Держава регулює, фінансує та встановлює стандарти доступності.
- Організації громадянського суспільства виступають як виконавці та посередники, що займаються адвокацією та підтримкою.
- Місцеві органи влади виконують роль координаторів застосування стандартів у просторах, закладах та цифрових сервісах.

Модель трисекторного партнерства формує основу стійкої політики інклюзії та дозволяє переходити від ізольованих втручань до системного впровадження, що відповідає принципам соціальної справедливості, доступності та рівності можливостей.

Висновки та практичні рекомендації

Загальні висновки

Дослідження показує, що стан інклюзивного середовища в Україні залишається недостатньо розвиненим. Існуючі міжнародні та національні стандарти забезпечують нормативну основу, проте їхнє практичне впровадження є фрагментарним і непослідовним.

Ключові висновки:

1. **Фізична доступність** обмежена у старих будівлях і публічних просторах через відсутність пандусів, вузькі двері та нерівні поверхні.
2. **Соціальна інтеграція** ускладнена через обмежену інформацію, низьку участь громади та дефіцит підтримуючих послуг.
3. **Цифрова доступність** розвинена нерівномірно, особливо у регіонах, обмежуючи доступ до інформації та послуг.

4. **Інноваційні практики** локалізовані, без механізмів масштабування.
5. **Державно-громадське партнерство** є критичним для системної інклюзії та рівного доступу.

Практичні рекомендації:

1. **Комплексний підхід:** об'єднати фізичні, соціальні та цифрові заходи в єдиній стратегії.
2. **Навчання та нарощування потенціалу:** підготовка персоналу освітніх, медичних та соціальних установ з інклюзивних практик.
3. **Цифрова інклюзія:** впровадження національних стандартів, адаптивних інтерфейсів, голосових підказок та інтерактивних інструментів.
4. **Фінансування та модернізація:** пріоритет державних і місцевих програм, цільові гранти для доступності.
5. **Координація та партнерство:** міжсекторна взаємодія держави, громадських організацій та місцевих громад для моніторингу та дотримання стандартів.

Інклюзивність є комплексним соціально-правовим процесом, що потребує координації, регуляторного контролю та активної громадянської участі, інтеграції у міське планування, освіти та цифрове управління.

Список літератури

1. UNESCO. (2020). Global Education Monitoring Report 2020: Inclusion and Education – All Means All. Paris, France: UNESCO Publishing.
2. Ainscow, M., & Booth, T. (2019). The Index for Inclusion: Developing Learning and Participation in Schools. Bristol, UK: Centre for Studies on Inclusive Education (CSIE).
3. United Nations. (2006). Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD). New York, NY: United Nations.
4. Florian, L. (2020). On the necessary co-existence of inclusive education and special education. International Journal of Inclusive Education, 24(1), 1–16.
5. European Commission. (2021). Union of Equality: Strategy for the Rights of Persons with Disabilities 2021–2030. Brussels, Belgium: European Commission.
6. DBN V.2.2-40:2018. (2018). Державні будівельні норми України В.2.2-40:2018. Будинки і споруди. Доступність будівель та споруд для маломобільних груп населення. Київ, Україна: Міністерство регіонального розвитку [адаптовано на українське джерело].
7. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. (2018). World Wide Web Consortium (W3C).

[EN_4]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova
Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Inclusive Environment and Development Potential

Abstract

The development and advancement of an inclusive environment constitute fundamental dimensions of contemporary societal, educational, and urban progress [1,2]. Ensuring equitable access to educational, social, cultural, and digital resources for individuals with diverse abilities and age groups significantly enhances social cohesion, supports personal development, and strengthens institutional resilience [3,4]. In the context of global crises, armed conflicts, and rapid technological transformations, the establishment of effective and sustainable inclusion mechanisms is increasingly imperative [5].

This study highlights key determinants of effective inclusive environments and proposes actionable, evidence-based recommendations for implementation across social, educational, and urban contexts [1,4]. Research objectives include a comprehensive analysis of contemporary theoretical frameworks of inclusion [2], assessment of international standards and best practices [5], identification of structural and operational barriers [3], and development of practical solutions leveraging digital platforms and spatially informed tools [4].

The methodological framework adopts an interdisciplinary approach, combining sociological, educational, urbanistic, and digital research methods [1,2].

Data collection involved expert surveys, assessments of physical and digital accessibility, and application of evaluative criteria to determine the effectiveness of inclusive environments [5].

Findings demonstrate that effective inclusion relies on the coordinated integration of spatial, social, and digital solutions, active engagement of stakeholders, systematic planning, and promotion of innovative practices [4,1]. The study's practical significance lies in providing structured guidance to educational institutions, civil society actors, and governmental authorities to enhance inclusivity and accessibility. Scientific novelty derives from a comprehensive evaluative framework aligning international standards with national practices while integrating advanced digital technologies [2,4].

Keywords: inclusion, inclusive environment, accessibility, social innovation, digital technologies, interdisciplinarity, educational practices.

Introduction

An inclusive environment represents a fundamental component of social integration and sustainable development within contemporary communities [1,2]. This concept encompasses not only the physical infrastructure of educational institutions, public facilities, and cultural centers, but also adjacent open spaces, including parks, playgrounds, pedestrian zones, and other areas of public use. Inclusivity equally extends to digital environments and information infrastructure, ensuring comprehensive accessibility in both physical and virtual dimensions [5]. Establishing such conditions guarantees equitable access for all social groups, particularly persons with reduced mobility and individuals with disabilities, thereby promoting their full participation in civic, educational, and cultural life [3,4].

In contemporary contexts marked by armed conflicts, social crises, and rapid technological transformations, the need for a multidimensional approach to inclusion becomes increasingly critical [4,1]. Developing an inclusive environment requires compliance with regulatory and technical frameworks, including national building codes such as DBN V.2.2-40:2018 "Buildings and Structures. Accessibility of Buildings and Structures for Persons with Reduced Mobility" [6], alongside other national and international standards governing accessibility and barrier-free spaces [6]. These instruments provide the legal and technical foundation to ensure urban and institutional spaces meet the full spectrum of societal needs.

The scientific and practical significance of this study lies in its capacity to integrate spatial, social, and digital solutions into a unified conceptual model of inclusive development. Specifically, the creation of an inclusive environment ensures:

- Universal access to educational, social, and cultural resources, enabling full engagement with societal institutions.

- Development of personal potential by supporting learning, self-realization, and social participation.
- Integration of international standards with local practices, allowing urban planners, educators, and policymakers to harmonize best global practices with contextual realities [5,4].

The primary objective of the study is to identify the key determinants of an effective inclusive environment and formulate practical recommendations for implementation across diverse social, educational, and urban contexts [1]. The following tasks have been delineated to achieve this objective:

- Conduct a comprehensive analysis of contemporary inclusion concepts, highlighting theoretical foundations and interdisciplinary approaches.
- Evaluate international and national accessibility standards with respect to legal compliance, practical applicability, and feasibility.
- Identify barriers encountered by persons with reduced mobility, including physical, social, cultural, and digital obstacles.
- Examine practical solutions that integrate spatial planning, architectural design, and digital platforms to ensure inclusive participation and equitable access.

Systematic execution of these tasks will foster the development of inclusive approaches in policy, design, and public administration. Accordingly, this study emphasizes the close interconnection between accessibility, social equity, and sustainable development, framing inclusion not merely as a legal or ethical obligation but as a strategic prerequisite for contemporary societal advancement.

Theoretical review

Concept and Definition of Inclusion

Inclusion is defined as a multidimensional and dynamic process aimed at creating conditions that ensure equal access, active participation, and meaningful engagement of all social groups in social, educational, cultural, and urban development processes [1,4]. The concept encompasses not only physical accessibility of buildings, internal spaces, and adjacent public areas but also the comprehensive integration of digital, informational, and communication resources, enabling full participation of individuals with limited mobility, people with disabilities, the elderly, and other marginalized or underrepresented groups [3]. Inclusion addresses not only the removal of physical barriers but also the creation of social conditions that foster mutual support, participation in decision-making, and the development of interpersonal skills.

Furthermore, inclusion aims to strengthen social justice, expand opportunities for personal development, and enhance social interaction. It cultivates cohesive, participatory, and mutually supportive communities, where all participants can actively engage in civic life, educational processes, cultural activities, and urban

initiatives. This approach allows for a comprehensive assessment of the needs of diverse population groups and facilitates more effective planning and implementation of inclusive development strategies at both local and national levels.

Quantitative Assessment of Inclusivity

The inclusivity index (I) is a comprehensive quantitative indicator designed to assess the level of inclusiveness of a given environment and analyze its components. Its application enables stakeholders, policymakers, urban planners, and administrators of educational and public institutions to objectively evaluate physical, social, and digital accessibility, as well as the degree of active participation of diverse population groups. Integrating this indicator into planning, monitoring, and policy evaluation processes allows for identifying weaknesses in inclusive practices, comparing different spaces, and assessing the effectiveness of implemented measures.

Specifically, the P — Physical Accessibility component evaluates the presence of ramps, elevators, tactile surfaces, adapted entrances, and surrounding public areas. For instance, universities where most buildings are adapted for mobility-impaired groups receive high scores, whereas older government facilities often exhibit significant access barriers. The S — Social Integration and Participation component encompasses communication accessibility, availability of support services, and community involvement in decision-making. Cultural centers providing sign language translation and programs for elderly citizens score higher in this component. The D — Digital Accessibility component considers compliance with WCAG standards, adaptive interfaces, and integration of assistive technologies. Municipal portals compatible with screen readers and voice assistants demonstrate high levels of digital inclusion.

The use of this index provides a scientific basis for planning infrastructure, social, and digital projects, ensures equal opportunities, and establishes criteria for comparative analysis. It supports the development of practical recommendations to enhance inclusivity and sustainability across various environments (formula 1):

$$I = w_1P + w_2S + w_3D \quad (1)$$

where:

- w_1, w_2, w_3 - weighting coefficients reflecting the relative priority of each component;
- P - physical accessibility of buildings, internal spaces, and adjacent public areas;
- S - social integration and participation in societal, educational, and cultural activities;
- D - digital accessibility, including online platforms and technological tools necessary for full participation.

The proposed model combines normative, practical, and analytical approaches, drawing upon international frameworks [1], UN and EU directives, WHO

recommendations, and national Ukrainian standards [6] that define requirements for barrier-free environments and universal design. Its conceptual foundation aims to establish an integrated mechanism for assessing inclusivity that merges quantitative and qualitative indicators aligned with the principles of sustainable development, equal opportunities, and participatory governance.

This approach enables comparative analysis across institutions and sectors — from educational settings to municipal infrastructure systems — while identifying priority areas for modernization. The systematic integration of the Inclusivity Index (I) into community development strategies, university planning, and urban projects not only strengthens quality control but also enhances resource efficiency, social cohesion, and governmental accountability.

Moreover, the model possesses predictive value: through collected data, it allows stakeholders to identify structural imbalances, determine at-risk groups, and simulate long-term scenarios for improving inclusivity. For practitioners — including urban planners, educational administrators, architects, and social policy experts — this analytical tool can serve as a foundation for managerial decisions, funding justification, and the design of adaptive or technological interventions within “smart city” frameworks. Thus, the model ensures a comprehensive assessment of accessibility and participation while reinforcing the evidence-based foundation for implementing Ukraine’s national strategy for inclusive and sustainable development (table 1).

Table 1: Key components and examples of how to measure inclusiveness

Component	Description	Example Score (0–1)	Data Source
P — Physical Accessibility	Availability of ramps, elevators, tactile surfaces, adapted entrances, parks, and pedestrian zones	0,8 – universities with mostly adapted buildings	DBN V.2.2-40:2018
S — Social Integration	Accessibility of communication, support services, inclusive programs, participation in decision-making	0,9 – cultural centers with sign language translation, programs for elderly	Surveys, internal monitoring
D — Digital Accessibility	Compliance with WCAG standards, assistive technologies, mobile adaptation	1,0 – city portal compatible with screen readers	WCAG 2.1, ISO/IEC 40500

Source: own development based on [6, 7]

Explanation of Model Components

1. Weight Coefficients (w_1, w_2, w_3). The weight coefficients represent the relative importance of each component within specific social, educational, or urban contexts. They allow the model to be adapted to the needs of various user groups. For instance, in educational institutions, w_1 (physical accessibility) and w_3 (digital

accessibility) have greater importance due to the need for barrier-free learning spaces and e-learning infrastructure. Conversely, in cultural or urban environments, w_2 (social participation) becomes more significant, ensuring inclusivity in public communication and community engagement.

For normalization, the total sum of the weights equals one (Equation 2):

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (2).$$

2. **Physical Accessibility (P).** This parameter evaluates architectural and spatial design solutions such as ramps, elevators, door widths, tactile surfaces, lighting, and signage. Assessment is based on compliance with the Ukrainian State Building Code DBN V.2.2-40:2018 [6] and international ISO/EN standards that define accessibility requirements and universal design principles.
3. **Social Integration and Participation (S).** This component measures the level of public involvement and interaction among different population groups. It considers the availability of support services, communication accessibility, inclusive programs, and representation in decision-making processes. Social integration serves as an indicator of genuine engagement, community belonging, and mutual trust beyond mere physical inclusion.
4. **Digital Accessibility (D).** The D parameter assesses access to digital platforms and services, compliance with WCAG 2.1 [7], and the use of assistive technologies for users with visual, auditory, or motor impairments. It also accounts for mobile adaptability and clear, user-friendly interface design.

Expanding digital inclusion enables equal participation in education, employment, civic engagement, and access to administrative services. (figure 1).

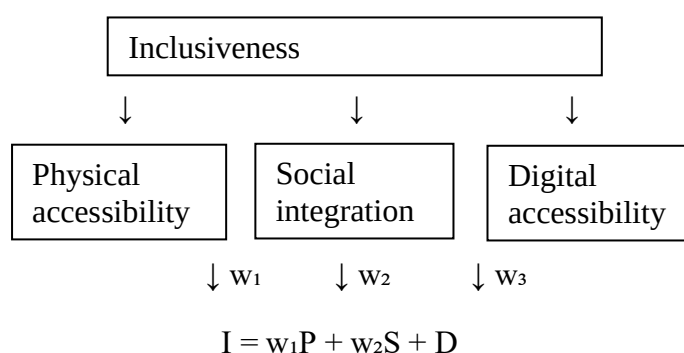


Figure 1. Schematic Representation of the Inclusivity Index Model
Source: Author's development

Practical Applications:

- **Urban Planning:** calculating I for public spaces helps identify infrastructure improvement priorities (ramps, accessible transport routes, digital services).

- **Educational Institutions:** universities can use the index to assess campus accessibility, digital engagement quality, and equality in participation.
- **Public Policy:** governmental authorities can employ I as a monitoring indicator for national and international accessibility standards and for optimizing resource allocation.

Interpretation of Results.

Higher I values indicate a more inclusive environment, where physical, social, and digital accessibility dimensions are realized in an integrated way. The model enables comparison across institutions, cities, and regions, identifies strengths, and supports evidence-based planning and improvement.

Ultimately, this framework provides a structured, measurable, and context-sensitive approach to inclusivity assessment, transforming it from qualitative judgment into a scientifically grounded quantitative evaluation system.

Inclusive Environment and Development Potential: International Standards and Practices

The principle of inclusion is enshrined in key international conventions and policy frameworks that establish a unified legal and normative foundation for equal access and participation in social, educational, cultural, and urban spheres.

1. ***UN Convention on the Rights of Persons with Disabilities [3]*** ensures the right to education, culture, and social services without discrimination. It obliges states to promote universal accessibility and remove physical, social, and informational barriers.

Special emphasis is placed on the participation of persons with disabilities in decision-making processes, affirming inclusion as both a legal and humanitarian principle.

2. UNESCO's "Education for All" Initiative [1] promotes the creation of inclusive curricula, teacher training, adaptive learning environments, and supportive policies that enable every learner to realize their potential.

Inclusive pedagogy fosters both academic achievement and social integration, addressing inequalities arising from physical, cognitive, or socio-economic limitations.

3. European Commission Guidelines on Inclusive Education and Accessible Public Space [5] provide a methodological framework for building inclusive educational systems and urban environments by integrating architectural, social, and digital accessibility.

They also introduce monitoring mechanisms to assess compliance with standards and evaluate the effectiveness of inclusion strategies.

Impact on Policy and Practice:

International standards guide national legislation and institutional strategies, integrating physical, social, and digital dimensions of accessibility.

Their implementation supports evidence-based policymaking, enhances accountability, and harmonizes inclusive approaches across countries and sectors.

Thus, adherence to these norms enables governments, educational institutions, and urban planners to create environments that meet legal obligations while advancing social equity, participation, and sustainable development.

Barriers and Challenges to Inclusive Environments

Despite growing recognition of the importance of inclusion, multiple barriers continue to impede full participation of diverse social groups in educational, cultural, social, and urban contexts. These obstacles can be categorized into four interrelated dimensions: physical, social, digital, and cultural.

Physical barriers include inaccessibility of buildings, public spaces, and internal facilities, such as the absence of ramps, elevators, tactile indicators, or adequately wide doorways, which constrain mobility for persons with disabilities and older adults and indirectly affect social participation.

Social barriers involve persistent stereotypes, limited awareness, and insufficient community support, leading to exclusion from decision-making processes and restricted access to mentorship and social networks.

Digital barriers encompass inadequate design of online platforms, lack of assistive technologies, and non-adaptive digital tools, which hinder educational, professional, and civic engagement.

Cultural barriers emerge when programs or services fail to account for ethnic, linguistic, age-related, or cultural diversity, producing unequal access and diminished participation.

Integrated approach: Addressing these barriers necessitates a multi-dimensional strategy that combines regulatory frameworks, infrastructure enhancement, social advocacy, and technological innovation. Evidence-based standards and international practices provide a methodological basis for systematic barrier removal. Comprehensive interventions strengthen social cohesion, expand opportunities for all citizens, and advance sustainable development, translating inclusion from a normative principle into tangible societal practice.

Methodology for Assessing Inclusive Environments

This study employed an interdisciplinary approach integrating sociology, education, urban studies, and digital methodologies [1, 4]. The framework enables a comprehensive evaluation of physical accessibility, social participation, digital inclusion, and user development potential [5, 2], reflecting the interplay of structural, social, and technological factors.

Inclusivity Assessment was based on three core dimensions forming the Inclusive Index (I):

1. ***Physical Accessibility (P)***: buildings, interiors, adjacent public spaces, and pedestrian zones; key features include ramps, elevators, signage, and barrier-free entrances [6].
2. ***Social Participation (S)***: engagement of individuals with limited mobility in educational, cultural, and community activities; measured by participation, user satisfaction, and community support [4].
3. ***Digital Accessibility (D)***: access to digital platforms, online services, and informational resources; evaluated through usability, compatibility with assistive technologies, and guidance availability [5].

Data Collection Methods included expert and user surveys, spatial audits (field and digital), and comparative case studies of local and international practices [5, 4].

Evaluation Criteria encompassed physical access, social integration, digital inclusion, and innovation/development potential.

This methodological framework provides a concise, multidimensional assessment of inclusivity, offering practical guidance for urban planners, policymakers, educators, and community leaders.

Practical Results

To assess the inclusiveness of built and social environments, a field investigation was carried out across representative institutions in Ukraine — including educational facilities, hospitals, public service buildings, and adjacent community spaces. The research combined quantitative observation, spatial accessibility mapping, and qualitative user feedback, allowing for a comprehensive assessment of both physical and perceptual accessibility.

The study primarily focused on people with reduced mobility — persons with disabilities, elderly citizens, and individuals experiencing temporary physical limitations — as key indicators of inclusiveness within urban and institutional design.

In addition, digital and informational accessibility were examined to evaluate the capacity of institutions to support hybrid social participation, particularly relevant in post-crisis and post-war recovery contexts.

Physical Accessibility

The evaluation demonstrated that most of the surveyed buildings and their surroundings partially comply with the national accessibility standards (DBN) [6], revealing a persistent gap between formal regulation and practical implementation.

The most critical shortcomings can be grouped into four interconnected dimensions:

1. Entrances and Interior Adaptation Deficiencies

- In many cases, ramps were either absent or constructed at incorrect slopes, making them unsafe for wheelchair users.
 - Narrow corridors and doorways in older facilities constrain movement and evacuation capacity, reducing functional inclusiveness.
2. Restricted access to essential infrastructure and utilities
 - Accessible restrooms are available mainly in newly constructed facilities; navigation signage and tactile marking remain rare.
 3. Inaccessibility of adjacent areas and shared public spaces
 - Uneven pedestrian pathways and limited driveway access impede safe and independent mobility.
 - Lack of handrails and protective barriers increases the risk of injury and limits secure entry to buildings.
 - Poorly designed public spaces contribute to social isolation and reduced community participation among mobility-impaired individuals.
 4. Impact of physical barriers on social integration and inclusion
 - Deficiencies in physical accessibility directly affect opportunities for education, cultural engagement, and social interaction, thereby reducing independence and community involvement.
 - Physical obstacles are often accompanied by psychological barriers, such as fear of injury or anticipated difficulties, which discourage active participation.

The integrated analysis underscores an urgent need for a systematic modernization of the built environment, including.

These measures are essential for forming a resilient and inclusive infrastructure that ensures comfort, safety, and active participation of mobility-impaired groups in social and economic life (Table 2).

Table 2. Physical Accessibility of Institutions and Surrounding Areas

Type of Institution	Target Group	DBN Compliance	Identified Barriers	Data Source
School	Students with disabilities	Partial	Lack of ramps at main entrance; narrow corridors	Field research
Hospital	Elderly people, persons with limited mobility	Partial	Limited number of elevators; inaccessible restrooms	Field research
Government Office	General public, wheelchair users	Low	Uneven sidewalks; poor signage	Field research
Cultural Center	All users	Partial	Steep ramps; limited seating for elderly visitors	Field research

Source: Author's own elaboration.

These results provide empirical evidence for policy recommendations aimed at urban inclusivity enhancement.

The study's novelty lies in the integration of physical audits, user perception analysis, and normative assessment within a single evaluation framework.

Such a cross-disciplinary approach contributes to the development of data-driven urban planning strategies, aligned with the principles of the UN Convention on the Rights of Persons with Disabilities and the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly Goal 11 — Sustainable Cities and Communities.

Social Participation and Integration

Mobility-impaired populations remain significantly underrepresented in social, educational, and cultural spheres due to the persistent influence of physical, psychological, and organizational barriers. The limited accessibility of urban infrastructure — including the absence of ramps, elevators, and adapted transport, as well as uneven surfaces and narrow corridors — continues to constrain mobility and participation. Psychological factors, such as the fear of injury, perceived dependence, and enduring social stereotypes, deepen the sense of exclusion. Institutional and organizational deficiencies, including fragmented coordination among authorities, insufficient support mechanisms, and the absence of comprehensive informational systems, further exacerbate social isolation and hinder full inclusion of individuals with disabilities into community life.

Overcoming these multidimensional barriers requires a systemic and interdisciplinary approach, combining technological innovation with social and psychological support. The implementation of assistive technologies, such as smart mobility devices, adaptive infrastructure, and digital accessibility platforms, plays a crucial role in restoring independence and participation. Equally important are rehabilitation and social integration programs, aimed at developing self-efficacy, psychological resilience, and employment opportunities for people with disabilities. In this context, cooperation among public authorities, civil society, and international partners becomes a decisive factor in building inclusive environments and sustainable rehabilitation networks.

Methodological basis: The findings derive from a combination of field observations, structured surveys, and accessibility audits conducted in Ukrainian educational, medical, and administrative institutions. The mixed-method approach enabled a nuanced evaluation of both quantitative indicators of accessibility and qualitative dimensions of social experience, revealing systemic shortcomings that affect everyday participation.

Consequences: These interlinked barriers produce a cumulative effect — reducing educational and cultural involvement, limiting employment prospects, and infringing upon constitutional and human rights to equal access. Prolonged exclusion leads to decreased social interaction, self-efficacy, and civic identity

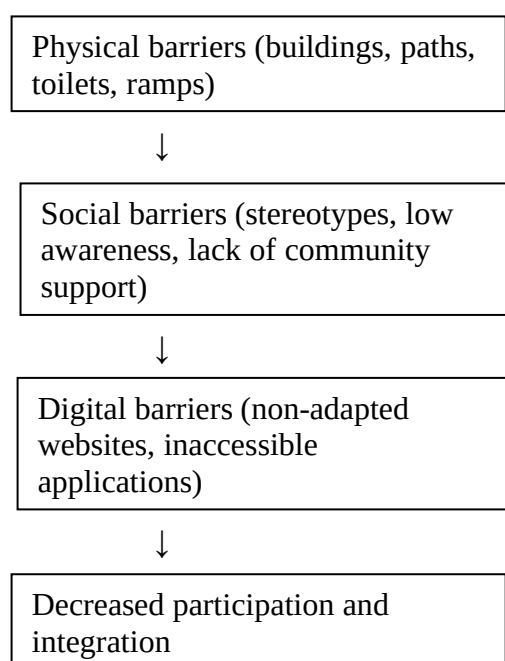
among mobility-impaired individuals, weakening community resilience and inclusiveness.

Innovative recommendations:

- Develop comprehensive support networks (assistants, volunteers, and social workers) trained in inclusive practices to accompany participants and facilitate safe participation in public life.
- Strengthen cooperation between municipal authorities, NGOs, and community organizations to coordinate accessible educational and cultural initiatives.
- Improve information accessibility via adaptive communication systems, accessible web resources, tactile navigation, and multilingual outreach materials that support assistive technologies.
- Conduct continuous public awareness and education campaigns to promote inclusive culture, reduce stigma, and normalize participation of people with disabilities in all spheres of life.

This integrated framework not only addresses physical and informational barriers but also introduces a systemic model of social inclusion, consistent with UN CRPD principles, European accessibility standards, and the Sustainable Development Goals (SDG 10 and SDG 11).

It emphasizes that accessibility is not only a technical or architectural issue but a societal and institutional process, requiring interdisciplinary coordination and evidence-based implementation (Figure 2).



Source: Author's elaboration

Figure 2. Interaction of Physical, Social, and Digital Barriers Reducing Participation

Note: The diagram illustrates how multiple barriers interact to limit overall participation. The model aligns with international guidelines and national accessibility standards, emphasizing the need for simultaneous, comprehensive interventions.

Digital accessibility and innovative solutions

Digital accessibility in Ukraine remains fragmented and inconsistent with contemporary international standards. A significant share of governmental and private-sector websites, as well as mobile applications, are not properly adapted for persons with disabilities, particularly for older adults and individuals with sensory or cognitive impairments. Currently, interactive maps, voice navigation systems, adaptive interfaces, and text-to-speech modules are being implemented only in a few major cities, and mostly as isolated local initiatives. The absence of a unified national framework for digital inclusion constrains the formation of an integrated, user-centered ecosystem of e-services accessible to all citizens, regardless of their physical or cognitive abilities.

To overcome these disparities, it is essential to establish a systematic monitoring framework for digital inclusiveness, integrating technical, social, and organizational indicators. Such an approach allows for both the quantitative assessment of accessibility levels and the evaluation of policy implementation efficiency at local and national scales, providing a rational foundation for decision-making and prioritizing investments in inclusive technologies.

For the systemic evaluation of digital accessibility, a quantitative method is applied, enabling the determination of priority areas for the introduction of adaptive technologies tailored to diverse user categories (formula 3).

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n a_i v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (3)$$

Where:

- a_i - availability of a particular digital service (1 = available, 0 = unavailable);
- v_i - the weight or importance of the service for a particular user group;
- n - the number of services evaluated;
- D - an overall indicator of digital accessibility.

Formula 3. Systematic assessment of digital accessibility

This method not only measures the presence of basic accessibility features but also defines the relative importance of each service for socially integrated participation. For example, screen-reader compatibility and voice navigation are crucial for persons with visual impairments, while adaptive interfaces and interactive maps with minimal touch-screen interaction are prioritized by individuals with mobility limitations.

In Ukraine, digital accessibility is regulated by State Building Standards (DBN) [6], which outline technical requirements for accessible infrastructure and digital services for persons with disabilities. At the international level, similar principles are enshrined in the European Commission's digital inclusion guidelines [5]. Despite this regulatory framework, the implementation of innovative accessibility solutions remains limited due to systemic fragmentation, insufficient funding, and a lack of specialists in adaptive design.

A comprehensive strategy is required, integrating:

1. Development of unified accessible digital platforms;
2. Monitoring and evaluation based on quantitative indicators;
3. Training of specialists in digital inclusion and UX design for people with disabilities;
4. Cross-sector cooperation among governmental, civic, and private stakeholders.

Such an integrated approach ensures not only the constitutional right to access information and participate in public life, but also promotes social inclusion, efficiency of public services, and the growth of an innovative ecosystem across the country.

Discussion

Analysis of Inclusive Solutions' Effectiveness

Empirical evidence indicates that physical, social, and digital inclusion measures in Ukraine are implemented in a fragmented and unsystematic manner. Despite the presence of legal frameworks and technical standards [5] and the United Nations Convention [3], practical implementation remains inconsistent across regions and institutional types.

Physical measures, including ramps, widened doorways, and accessible restrooms, are primarily implemented in newly constructed buildings or through international technical assistance projects. Meanwhile, most existing facilities remain inaccessible to persons with reduced mobility.

Social initiatives targeting persons with reduced mobility are largely limited to short-term local projects and civil society actions, often lacking sustainable institutional support. Digital accessibility solutions, such as adaptive websites, mobile applications, and voice-assistance systems, are predominantly concentrated in large cities and are not systematically integrated into regional or rural infrastructures.

Consequently, the overall effectiveness of inclusion remains low, as reflected in the composite inclusivity index ($I < 0.5$) calculated for the majority of surveyed institutions.

Determinants of Successful Inclusion Integration

Analysis of national practices and international experience highlights several key determinants for successful inclusion integration:

1. ***Comprehensive and Multidimensional Approach.*** The most effective inclusion systems combine physical improvements, social support mechanisms, and digital accessibility solutions in an integrated framework [5].
2. ***Capacity Building and Professional Training.*** Personnel in education, healthcare, and administration must possess competencies in inclusive communication, accessibility management, and assistive technologies. Regular training ensures the sustainability of inclusive practices.
3. ***Community Participation and Stakeholder Engagement.*** Involving volunteers, local NGOs, social partners, and end users in the planning, implementation, and monitoring of inclusive projects enhances social legitimacy and practical relevance.
4. ***Normative and Legal Support.*** Compliance with national building codes and local accessibility standards should be mandatory at all stages of design, renovation, and public procurement. Integrating these standards into municipal regulations significantly improves long-term effectiveness and accountability.

Challenges in Scaling and Sustaining Inclusive Practices

Despite an increasing number of pilot projects, systemic scaling of inclusion initiatives faces persistent challenges:

- ***Financial Constraints.*** Retrofitting older buildings, upgrading public spaces, and implementing digital accessibility measures require substantial capital investments.
- ***Fragmentation of Initiatives.*** Many inclusion projects are isolated and short-term, lacking continuity and integration into broader urban or national development programs.
- ***Institutional and Administrative Gaps.*** Weak coordination between government agencies, local authorities, and community organizations reduces policy coherence.
- ***Cultural and Social Barriers.*** Persistent stereotypes and limited understanding of the needs of persons with disabilities inhibit the creation of inclusive environments.

The Role of Public–Private and Civil Sector Partnerships

Effective inclusion requires structured cooperation among governmental institutions, local communities, and civil society organizations:

- The state regulates, finances and sets accessibility standards.
- Civil society organisations act as implementers and intermediaries engaged in advocacy and support.

- Local authorities play the role of coordinators of the application of standards in spaces, institutions and digital services.

A tri-sector partnership model forms the foundation of sustainable inclusion policy, enabling a transition from isolated interventions to systemic implementation aligned with social justice, accessibility, and equality of opportunity.

Conclusions and practical recommendations

General Conclusions

The study demonstrates that the state of the inclusive environment in Ukraine remains underdeveloped. Existing international and national standards provide a normative basis, yet their practical implementation is fragmented and inconsistent.

Key conclusions:

1. **Physical accessibility** is limited in older buildings and public spaces due to lack of ramps, narrow doorways, and uneven surfaces.
2. **Social integration** is constrained by limited information, low community engagement, and insufficient support services.
3. **Digital accessibility** is uneven, particularly in regional areas, restricting access to information and services.
4. **Innovative practices** are localized, without mechanisms for scaling.
5. **Public–civil partnerships** are critical for systemic inclusion and equitable access.

Practical Recommendations:

- **Comprehensive approach:** integrate physical, social, and digital measures into a unified strategy.
- **Capacity building and training:** prepare personnel in educational, healthcare, and social institutions in inclusive practices.
- **Digital inclusion:** implement national standards, adaptive interfaces, voice guidance, and interactive tools.
- **Funding and infrastructure modernization:** prioritize state and local programs, establish targeted grants for accessibility projects.
- **Coordination and partnerships:** intersectoral collaboration among government, civil society, and local communities to monitor and ensure compliance with standards.

Inclusivity is a comprehensive socio-legal process requiring coordination, regulatory oversight, and active civic engagement, integrated into urban planning, education, and digital governance.

References

1. UNESCO. (2020). Global Education Monitoring Report 2020: Inclusion and Education – All Means All. Paris, France: UNESCO Publishing.
2. Ainscow, M., & Booth, T. (2019). The Index for Inclusion: Developing Learning and Participation in Schools. Bristol, UK: Centre for Studies on Inclusive Education (CSIE).
3. United Nations. (2006). Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD). New York, NY: United Nations.
4. Florian, L. (2020). On the necessary co-existence of inclusive education and special education. *International Journal of Inclusive Education*, 24(1), 1–16.
5. European Commission. (2021). Union of Equality: Strategy for the Rights of Persons with Disabilities 2021–2030. Brussels, Belgium: European Commission.
6. DBN V.2.2-40:2018. (2018). Buildings and Structures. Accessibility of Buildings and Facilities for People with Limited Mobility. Kyiv, Ukraine: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine.
7. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. (2018). World Wide Web Consortium (W3C).

[ES_4]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Entorno inclusivo y potencial de desarrollo

Resumen

El desarrollo y la consolidación de un entorno inclusivo son dimensiones clave del progreso social, educativo y urbano [1,2]. Garantizar el acceso equitativo a recursos educativos, culturales, sociales y digitales para personas con diversas capacidades y edades incrementa la cohesión social, favorece el desarrollo personal y fortalece la resiliencia institucional [3,4]. En contextos de crisis globales, conflictos y cambios tecnológicos rápidos, se vuelve cada vez más imperativo establecer mecanismos de inclusión eficaces y sostenibles [5].

Este estudio resalta los determinantes clave de entornos inclusivos efectivos y propone recomendaciones prácticas basadas en evidencia para su implementación en contextos sociales, educativos y urbanos [1,4]. Los objetivos de la investigación incluyen: un análisis integral de los marcos teóricos contemporáneos de inclusión [2], evaluación de estándares internacionales y buenas prácticas [5], identificación de barreras estructurales y operativas [3], y desarrollo de soluciones prácticas aprovechando plataformas digitales y herramientas espacialmente informadas [4].

El marco metodológico adopta un enfoque interdisciplinario, combinando métodos sociológicos, educativos, urbanísticos y digitales [1,2]. La recolección de datos incluyó encuestas a expertos, evaluaciones de accesibilidad y aplicación de criterios para determinar la efectividad de los entornos inclusivos [5].

Los hallazgos demuestran que la inclusión efectiva depende de la integración coordinada de soluciones espaciales, sociales y digitales, del compromiso activo de los actores involucrados, de una planificación sistemática y de la promoción de prácticas innovadoras [4,1]. La relevancia práctica del estudio radica en proporcionar orientaciones estructuradas a instituciones educativas, actores de la sociedad civil y autoridades gubernamentales para mejorar la inclusividad y accesibilidad. La novedad científica deriva de un marco evaluativo integral que alinea estándares internacionales con prácticas nacionales, integrando simultáneamente tecnologías digitales avanzadas [2,4].

Palabras clave: inclusión, entorno inclusivo, accesibilidad, innovación social, tecnologías digitales, interdisciplinariedad, prácticas educativas.

Introducción

Un entorno inclusivo representa un componente fundamental para la integración social y el desarrollo sostenible en las comunidades contemporáneas [1,2]. Este concepto abarca no solo la infraestructura física de instituciones educativas, instalaciones públicas y centros culturales, sino también los espacios abiertos adyacentes, incluyendo parques, áreas de juego, zonas peatonales y otros espacios de uso público. La inclusividad se extiende igualmente a los entornos digitales y a la infraestructura de información, garantizando accesibilidad integral tanto en dimensiones físicas como virtuales [5]. Establecer estas condiciones asegura un acceso equitativo para todos los grupos sociales, en particular para personas con movilidad reducida y con discapacidad, promoviendo así su plena participación en la vida cívica, educativa y cultural [3,4].

En contextos contemporáneos de conflictos, crisis sociales y transformaciones tecnológicas rápidas, la necesidad de un enfoque multidimensional de la inclusión es cada vez más crítica [4,1]. El desarrollo de un entorno inclusivo requiere cumplir marcos normativos y técnicos, incluidos códigos de construcción como el DBN V.2.2-40:2018 “Edificios y Estructuras. Accesibilidad de Edificios y Estructuras para Personas con Movilidad Reducida” [6], así como otros estándares nacionales e internacionales que regulan la accesibilidad y los espacios libres de barreras. Estos instrumentos proporcionan la base legal y técnica para garantizar que los espacios urbanos e institucionales satisfagan las necesidades sociales.

La relevancia científica y práctica de este estudio radica en su capacidad para integrar soluciones espaciales, sociales y digitales en un modelo conceptual de desarrollo inclusivo. En particular, la creación de un entorno inclusivo garantiza:

- Acceso universal a recursos educativos, sociales y culturales, facilitando la participación plena en las instituciones de la sociedad.
- Desarrollo del potencial personal mediante el apoyo al aprendizaje, la autorrealización y la participación social.

- Integración de estándares internacionales con prácticas locales, permitiendo que urbanistas, educadores y responsables de políticas armonicen las mejores prácticas globales con las realidades contextuales [5,4].

El objetivo principal del estudio es identificar los determinantes clave de un entorno inclusivo efectivo y formular recomendaciones prácticas para su implementación en diversos contextos sociales, educativos y urbanos [1]. Para lograr este objetivo, se han delineado las siguientes tareas:

- Realizar un análisis integral de los conceptos contemporáneos de inclusión, destacando fundamentos teóricos y enfoques interdisciplinarios.
- Evaluar los estándares de accesibilidad internacionales y nacionales respecto al cumplimiento legal, aplicabilidad práctica y factibilidad.
- Identificar las barreras enfrentadas por personas con movilidad reducida, incluyendo obstáculos físicos, sociales, culturales y digitales.
- Explorar soluciones que integren planificación espacial, diseño arquitectónico y plataformas digitales para asegurar participación inclusiva y acceso equitativo.

La ejecución sistemática de estas tareas fomentará enfoques inclusivos en políticas, diseño y administración pública. Este estudio enfatiza la interconexión entre accesibilidad, equidad social y desarrollo sostenible, presentando la inclusión no solo como obligación legal o ética, sino como requisito estratégico para el avance de la sociedad contemporánea.

Revisión teórica

Concepto y definición de inclusión

La inclusión se define como un proceso multidimensional y dinámico orientado a crear condiciones que aseguren el acceso equitativo, la participación activa y la implicación significativa de todos los grupos sociales en los procesos sociales, educativos, culturales y de desarrollo urbano [1,4]. El concepto abarca no solo la accesibilidad física de los edificios, los espacios internos y las áreas públicas adyacentes, sino también la integración integral de recursos digitales, informativos y de comunicación, que permitan la participación plena de personas con movilidad reducida, personas con discapacidad, adultos mayores y otros grupos marginados o subrepresentados [3]. La inclusión aborda no solo la eliminación de barreras físicas, sino también la creación de condiciones sociales que fomenten el apoyo mutuo, la participación en la toma de decisiones y el desarrollo de habilidades interpersonales.

Además, la inclusión busca fortalecer la justicia social, ampliar las oportunidades de desarrollo personal y mejorar la interacción social. Promueve comunidades cohesivas, participativas y solidarias, donde todos los participantes puedan involucrarse activamente en la vida cívica, los procesos educativos, las actividades culturales y las iniciativas urbanas. Este enfoque permite una evaluación integral de las necesidades de diversos grupos poblacionales y facilita una

planificación e implementación más efectiva de estrategias de desarrollo inclusivo tanto a nivel local como nacional.

Evaluación cuantitativa de la inclusividad

El índice de inclusividad (I) es un indicador cuantitativo integral diseñado para evaluar el nivel de inclusión de un entorno determinado y analizar sus componentes. Su aplicación permite a las partes interesadas, responsables políticos, urbanistas y administradores de instituciones educativas y públicas evaluar objetivamente la accesibilidad física, social y digital, así como el grado de participación activa de diversos grupos poblacionales. La integración de este indicador en los procesos de planificación, monitoreo y evaluación de políticas facilita la identificación de debilidades en las prácticas inclusivas, la comparación entre diferentes espacios y la evaluación de la efectividad de las medidas implementadas.

Específicamente, el componente P — Accesibilidad Física evalúa rampas, ascensores, superficies táctiles, accesos adaptados y áreas públicas. Universidades con edificios adaptados para personas con movilidad reducida obtienen puntuaciones altas, mientras instalaciones gubernamentales antiguas presentan barreras. El componente S — Integración Social y Participación incluye accesibilidad en comunicación, servicios de apoyo y participación comunitaria. Centros culturales con traducción a lengua de señas y programas para mayores logran puntuaciones superiores. El componente D — Accesibilidad Digital considera cumplimiento de normas WCAG, interfaces adaptativas e integración de tecnologías asistivas. Portales municipales compatibles con lectores de pantalla y asistentes de voz muestran altos niveles de inclusión digital.

El uso de este índice ofrece una base científica para planificar proyectos de infraestructura, sociales y digitales, asegura igualdad de oportunidades y establece criterios para análisis comparativos. Facilita el desarrollo de recomendaciones para mejorar la inclusividad y sostenibilidad en distintos entornos (fórmula 1):

$$I = w_1P + w_2S + w_3D \quad (1)$$

donde:

- w_1, w_2, w_3 - coeficientes de ponderación que reflejan la prioridad relativa de cada componente;
- P - accesibilidad física de edificios, espacios internos y áreas públicas adyacentes;
- S - integración social y participación en actividades sociales, educativas y culturales;
- D - accesibilidad digital, incluyendo plataformas en línea y herramientas tecnológicas necesarias para la participación plena.

El modelo propuesto combina enfoques normativos, prácticos y analíticos, tomando como referencia marcos internacionales [1], directivas de la ONU y la UE, recomendaciones de la OMS y estándares nacionales ucranianos [6] que definen los requisitos para entornos sin barreras y diseño universal. Su base conceptual busca

establecer un mecanismo integrado de evaluación de la inclusividad que combine indicadores cuantitativos y cualitativos, alineados con los principios de desarrollo sostenible, igualdad de oportunidades y gobernanza participativa.

Este enfoque permite análisis comparativos entre instituciones y sectores — desde entornos educativos hasta sistemas de infraestructura municipal— e identifica áreas prioritarias para la modernización. La integración del Índice de Inclusividad (I) en estrategias de desarrollo comunitario, planificación universitaria y proyectos urbanos fortalece el control de calidad y mejora la eficiencia de los recursos, la cohesión social y la rendición de cuentas.

Asimismo, el modelo posee valor predictivo: a partir de los datos recopilados, permite identificar desequilibrios estructurales, determinar grupos en riesgo y simular escenarios a largo plazo para mejorar la inclusividad. Para los profesionales —urbanistas, administradores educativos, arquitectos y expertos en políticas sociales— esta herramienta analítica puede servir como base para la toma de decisiones, justificación de financiamiento y diseño de intervenciones adaptativas o tecnológicas dentro de marcos de “ciudad inteligente”. De esta manera, el modelo asegura una evaluación integral de accesibilidad y participación, reforzando la base basada en evidencia para la implementación de la estrategia nacional de Ucrania de desarrollo inclusivo y sostenible (tabla 1).

Tabla 1: Componentes clave y ejemplos de medición de la inclusividad

Componente	Descripción	Ejemplo de puntuación (0–1)	Fuente de datos
P — Accesibilidad Física	Disponibilidad de rampas, ascensores, superficies táctiles, accesos adaptados, parques y zonas peatonales	0,8 – universidades con edificios mayormente adaptados	DBN V.2.2-40:2018
S — Integración Social	Accesibilidad de comunicación, servicios de apoyo, programas inclusivos, participación en decisiones	0,9 – centros culturales con traducción a lengua de señas, programas para personas mayores	Encuestas, monitoreo interno
D — Accesibilidad Digital	Cumplimiento de normas WCAG, tecnologías asistivas, adaptación móvil	1,0 – portal municipal compatible con lectores de pantalla	WCAG 2.1, ISO/IEC 40500

Fuente: elaboración propia basada en [6,7]

Explicación de los Componentes del Modelo

1. Coeficientes de ponderación (w_1, w_2, w_3). Los coeficientes de ponderación representan la importancia relativa de cada componente dentro de contextos sociales, educativos o urbanos específicos. Permiten que el modelo se adapte a las necesidades de distintos grupos de usuarios. Por ejemplo, en instituciones educativas, w_1 (accesibilidad física) y w_3 (accesibilidad digital) tienen mayor

relevancia debido a la necesidad de espacios de aprendizaje sin barreras y de infraestructura para la educación en línea. Por el contrario, en entornos culturales o urbanos, w_2 (participación social) adquiere mayor importancia, garantizando inclusión en la comunicación pública y la implicación comunitaria.

Para la normalización, la suma de los coeficientes debe ser uno (Ecuación 2):

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (2).$$

2. **Accesibilidad física (P).** Este parámetro evalúa soluciones arquitectónicas y de diseño, como rampas, ascensores, anchura de puertas, superficies táctiles, iluminación y señalización. La evaluación se basa en el cumplimiento del Código de Construcción ucraniano DBN V.2.2-40:2018 [6] y normas internacionales ISO/EN de accesibilidad y diseño universal.
3. **Integración social y participación (S).** Este componente evalúa el nivel de involucramiento público e interacción entre distintos grupos poblacionales. Considera la disponibilidad de servicios de apoyo, accesibilidad en la comunicación, programas inclusivos y representación en los procesos de decisión. La integración social refleja la implicación genuina, el sentido de pertenencia y la confianza mutua, más allá de la mera inclusión física.
4. **Accesibilidad digital (D).** Este parámetro evalúa el acceso a plataformas y servicios digitales, el cumplimiento de WCAG 2.1 [7] y el uso de tecnologías asistivas para personas con discapacidades visuales, auditivas o motoras, así como la adaptabilidad móvil y el diseño de interfaces claras y amigables.

La expansión de la inclusión digital permite la participación equitativa en educación, empleo, civismo y acceso a servicios administrativos (Figura 1).

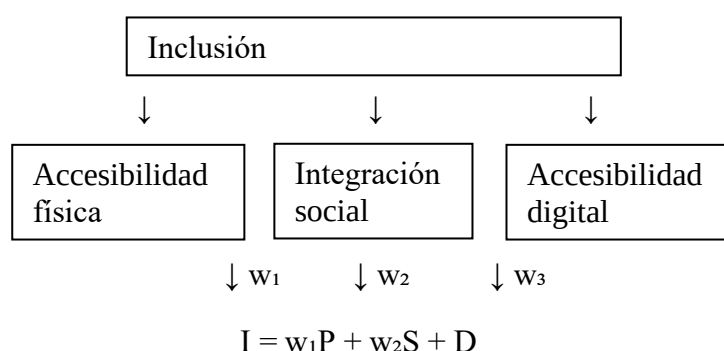


Figura 1. Representación esquemática del modelo del Índice de Inclusividad

Fuente: elaboración propia del autor

Aplicaciones prácticas:

- **Planificación urbana:** calcular I en espacios públicos ayuda a identificar prioridades en infraestructura, como rampas, transporte y servicios digitales.

- **Instituciones educativas:** las universidades pueden usar el índice para evaluar la accesibilidad del campus, la participación digital y la igualdad.
- **Política pública:** las autoridades gubernamentales pueden emplear I como indicador de monitoreo de estándares nacionales e internacionales de accesibilidad y para optimizar la asignación de recursos.

Interpretación de los resultados

Valores más altos del índice I indican un entorno más inclusivo, en el que las dimensiones de accesibilidad física, social y digital se realizan de manera integrada. El modelo permite comparaciones entre instituciones, ciudades y regiones, identifica fortalezas y respalda la planificación y mejora basada en evidencia.

En última instancia, este marco ofrece un enfoque estructurado, medible y sensible al contexto para evaluar la inclusividad, transformándola de un juicio cualitativo a un sistema de evaluación cuantitativa fundamentado científicamente.

Entorno inclusivo y potencial de desarrollo: estándares y prácticas internacionales

El principio de inclusión está consagrado en convenciones y marcos políticos internacionales que establecen una base legal unificada para el acceso y la participación equitativa en los ámbitos social, educativo, cultural y urbano.

1. Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad [3] Garantiza el derecho a la educación, la cultura y los servicios sociales sin discriminación. Obliga a los Estados a promover la accesibilidad universal y a eliminar barreras físicas, sociales e informacionales.

Se pone especial énfasis en la participación de las personas con discapacidad en los procesos de toma de decisiones, afirmando la inclusión tanto como principio legal como humanitario.

2. Iniciativa “Educación para Todos” de la UNESCO [1] Promueve la creación de currículos inclusivos, la formación docente, entornos de aprendizaje adaptativos y políticas de apoyo que permitan a cada estudiante desarrollar su potencial.

La pedagogía inclusiva fomenta el logro académico y la integración social, abordando desigualdades por limitaciones físicas, cognitivas o socioeconómicas.

3. Directrices de la Comisión Europea sobre Educación Inclusiva y Espacios Públicos Accesibles [5] ofrecen un marco para construir sistemas educativos y entornos urbanos integrando accesibilidad arquitectónica, social y digital.

También introducen mecanismos de monitoreo para evaluar el cumplimiento de los estándares y la efectividad de las estrategias de inclusión.

Impacto en políticas y práctica profesional

Los estándares internacionales orientan la legislación nacional y las estrategias institucionales, integrando dimensiones físicas, sociales y digitales de accesibilidad.

Su implementación respalda la formulación de políticas basadas en evidencia, mejora la rendición de cuentas y armoniza enfoques inclusivos entre sectores.

De este modo, la adhesión a estas normas permite que gobiernos, instituciones educativas y urbanistas creen entornos que cumplan con las obligaciones legales a la vez que promuevan equidad social, participación y desarrollo sostenible.

Barreras y desafíos para entornos inclusivos

A pesar del reconocimiento de la importancia de la inclusión, múltiples barreras continúan impidiendo la participación plena de diversos grupos en contextos educativos, culturales, sociales y urbanos. Estos obstáculos se pueden categorizar en cuatro dimensiones interrelacionadas: física, social, digital y cultural.

- ***Barreras físicas:*** incluyen la inaccesibilidad de edificios, espacios públicos e instalaciones internas, como la ausencia de rampas, ascensores, indicadores táctiles o puertas adecuadas, lo que limita la movilidad de personas con discapacidad y adultos mayores, afectando la participación social.
- ***Barreras sociales:*** comprenden estereotipos persistentes, limitada sensibilización y escaso apoyo comunitario, que conducen a la exclusión de los procesos de toma de decisiones y restringen el acceso a mentorías y redes sociales.
- ***Barreras digitales:*** abarcan el diseño inadecuado de plataformas en línea, la falta de tecnologías asistivas y herramientas digitales no adaptativas, que dificultan la participación educativa, profesional y cívica.
- ***Barreras culturales:*** surgen cuando los programas o servicios no consideran la diversidad étnica, lingüística, generacional o cultural, generando acceso desigual y disminución de la participación.

Enfoque integrado: Abordar estas barreras requiere una estrategia multidimensional que combine marcos normativos, mejora de infraestructura, promoción social e innovación tecnológica. Los estándares basados en evidencia y prácticas internacionales proporcionan una base metodológica para la eliminación sistemática de barreras. Las intervenciones integrales fortalecen la cohesión social, amplían oportunidades para todos y fomentan el desarrollo sostenible, transformando la inclusión de un principio normativo en una práctica social tangible.

Metodología para la evaluación de entornos inclusivos

Este estudio empleó un enfoque interdisciplinario que integra sociología, educación, estudios urbanos y metodologías digitales [1,4]. El marco permite una evaluación integral de la accesibilidad física, la participación social, la inclusión digital y el potencial de desarrollo de los usuarios [5,2], reflejando la interacción de factores estructurales, sociales y tecnológicos.

La evaluación de la inclusividad se basó en tres dimensiones principales que conforman el Índice de Inclusividad (I):

1. ***Accesibilidad Física (P):*** edificios, interiores, espacios públicos adyacentes y zonas peatonales; características clave incluyen rampas, ascensores, señalización y entradas sin barreras [6].

2. **Participación Social (S)**: implicación de individuos con movilidad limitada en actividades educativas, culturales y comunitarias; medida mediante participación, satisfacción del usuario y apoyo comunitario [4].
3. **Accesibilidad Digital (D)**: acceso a plataformas digitales, servicios en línea y recursos informativos; evaluada a través de la usabilidad, compatibilidad con tecnologías asistivas y disponibilidad de guías [5].

Métodos de recopilación de datos: encuestas a expertos y usuarios, auditorías espaciales (campo y digitales) y estudios comparativos de prácticas locales e internacionales [5,4].

Criterios de evaluación: abarcaron acceso físico, integración social, inclusión digital y potencial de innovación/desarrollo.

Este marco metodológico proporciona una evaluación concisa y multidimensional de la inclusividad, ofreciendo orientación práctica para urbanistas, responsables políticos, educadores y líderes comunitarios.

Resultados prácticos

Para evaluar la inclusividad de los entornos construidos y sociales, se realizó una investigación de campo en instituciones representativas de Ucrania, incluyendo centros educativos, hospitales, edificios de servicios públicos y espacios comunitarios. La investigación combinó observación cuantitativa, mapeo de la accesibilidad espacial y retroalimentación cualitativa de los usuarios, permitiendo evaluar tanto la accesibilidad física como su percepción.

El estudio se centró principalmente en personas con movilidad reducida — personas con discapacidad, adultos mayores e individuos con limitaciones físicas— consideradas indicadores clave de la inclusividad en el diseño urbano e institucional.

Asimismo, se examinó la accesibilidad digital e informativa para evaluar la capacidad de las instituciones de apoyar la participación social híbrida, relevante en contextos de recuperación post-crisis y post-conflicto.

Accesibilidad física

La evaluación mostró que la mayoría de los edificios y sus entornos cumplen parcialmente con los estándares nacionales de accesibilidad (DBN) [6], evidenciando una brecha entre la regulación formal y su implementación.

Las deficiencias más críticas pueden agruparse en cuatro dimensiones interconectadas:

1. Deficiencias en entradas y adaptación interior
 - En muchos casos, las rampas estaban ausentes o construidas con pendientes incorrectas, lo que las hace inseguras para usuarios de sillas de ruedas.
 - Los pasillos y puertas estrechas en instalaciones antiguas limitan el movimiento y la capacidad de evacuación, reduciendo la inclusividad funcional.
2. Acceso restringido a infraestructura y servicios esenciales

- Los baños accesibles se hallan principalmente en instalaciones nuevas; la señalización de navegación y táctil sigue siendo escasa.

3. Inaccessibilidad de áreas adyacentes y espacios públicos compartidos

- Las aceras irregulares y el acceso limitado a vías de tránsito dificultan la movilidad segura e independiente.
- La ausencia de pasamanos y barreras protectoras aumenta el riesgo de lesiones y limita la entrada segura a los edificios.
- Los espacios públicos mal diseñados contribuyen al aislamiento social y reducen la participación comunitaria de personas con movilidad limitada.

4. Impacto de las barreras físicas en la integración social y la inclusión

- Las deficiencias en accesibilidad física afectan directamente las oportunidades de educación, participación cultural e interacción social, disminuyendo la independencia y la implicación comunitaria.
- Los obstáculos físicos suelen generar barreras psicológicas, como el miedo a lesiones o la anticipación de dificultades, que desincentivan la participación.

El análisis integrado subraya la necesidad urgente de modernizar sistemáticamente el entorno construido. Estas medidas son esenciales para una infraestructura resiliente e inclusiva que garantice confort, seguridad y participación de los grupos con movilidad reducida en la vida social y económica (Tabla 2).

Tabla 2. Accesibilidad física de instituciones y áreas circundantes

Tipo de institución	Grupo objetivo	Cumplimiento DBN	Barreras identificadas	Fuente de datos
Escuela	Estudiantes con discapacidad	Parcial	Falta de rampas en la entrada principal; pasillos estrechos	Investigación de campo
Hospital	Adultos mayores, personas con movilidad reducida	Parcial	Número limitado de ascensores; baños inaccesibles	Investigación de campo
Oficina gubernamental	Público general, usuarios de sillas de ruedas	Bajo	Aceras irregulares; señalización deficiente	Investigación de campo
Centro cultural	Todos los usuarios	Parcial	Rampas empinadas; asientos limitados para visitantes mayores	Investigación de campo

Fuente: Elaboración propia del autor.

Estos resultados proporcionan evidencia empírica para recomendaciones políticas orientadas a la mejora de la inclusividad urbana.

La novedad del estudio reside en integrar auditorías físicas, análisis de percepción de usuarios y evaluación normativa en un único marco de evaluación. Este enfoque interdisciplinario favorece el desarrollo de estrategias de planificación

urbana basadas en datos, alineadas con la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el Objetivo 11 — Ciudades y comunidades sostenibles.

Participación e integración social

Las poblaciones con movilidad reducida permanecen significativamente subrepresentadas en los ámbitos social, educativo y cultural debido a la influencia persistente de barreras físicas, psicológicas y organizativas. La limitada accesibilidad de la infraestructura urbana —incluyendo la ausencia de rampas, ascensores y transporte adaptado, así como superficies irregulares y pasillos estrechos— continúa restringiendo la movilidad y la participación. Factores psicológicos, como el miedo a lesiones, la percepción de dependencia y los estereotipos sociales arraigados, profundizan el sentimiento de exclusión.

Las deficiencias institucionales y organizativas, que incluyen la coordinación fragmentada entre autoridades, mecanismos de apoyo insuficientes y la ausencia de sistemas informativos integrales, agravan aún más el aislamiento social e impiden la plena inclusión de las personas con discapacidad en la vida comunitaria.

Superación de barreras multidimensionales: Requiere un enfoque sistémico e interdisciplinario que combine innovación tecnológica con apoyo social y psicológico. La implementación de tecnologías asistivas, como dispositivos de movilidad inteligentes, infraestructura adaptativa y plataformas de accesibilidad digital, desempeña un papel crucial en la restauración de la independencia y la participación. Igualmente importantes son los programas de rehabilitación e integración social, orientados al desarrollo de la autoeficacia, la resiliencia psicológica y las oportunidades de empleo para personas con discapacidad. En este contexto, la cooperación entre autoridades públicas, sociedad civil y socios internacionales se convierte en un factor decisivo para la construcción de entornos inclusivos y redes de rehabilitación sostenibles.

Base metodológica: Los hallazgos se derivan de la combinación de observaciones de campo, encuestas estructuradas y auditorías de accesibilidad realizadas en instituciones educativas, médicas y administrativas de Ucrania. El enfoque de métodos mixtos permitió una evaluación matizada de los indicadores cuantitativos de accesibilidad y las dimensiones cualitativas de la experiencia social, revelando deficiencias sistémicas que afectan la participación cotidiana.

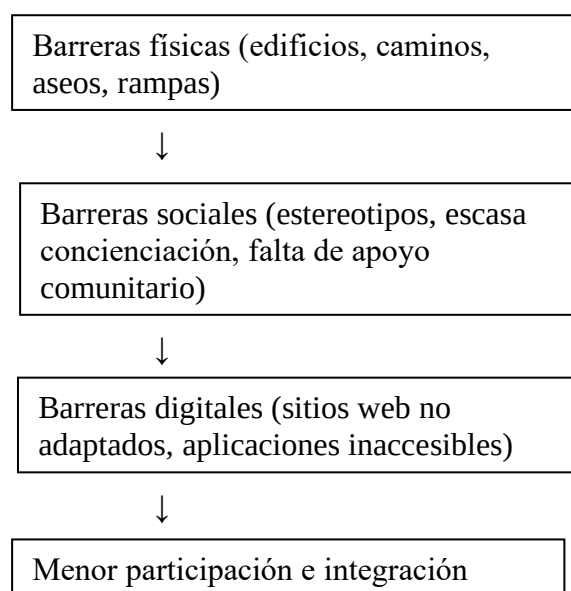
Consecuencias: Estas barreras interconectadas producen un efecto acumulativo —reduciendo la participación educativa y cultural, limitando las oportunidades laborales y vulnerando los derechos constitucionales y humanos de acceso equitativo. La exclusión prolongada conduce a una disminución de la interacción social, la autoeficacia y la identidad cívica entre las personas con movilidad reducida, debilitando la resiliencia y la inclusividad comunitaria.

Recomendaciones innovadoras:

- Desarrollar redes de apoyo integrales (asistentes, voluntarios y trabajadores sociales) capacitados en prácticas inclusivas para acompañar a los participantes y facilitar la participación segura en la vida pública.
- Fortalecer la cooperación entre autoridades municipales, ONG y comunidades para coordinar iniciativas educativas y culturales accesibles.
- Mejorar la accesibilidad de la información mediante sistemas de comunicación adaptativos, recursos web accesibles, navegación táctil y materiales multilingües que soporten tecnologías asistivas.
- Realizar campañas continuas de sensibilización y educación pública para promover una cultura inclusiva, reducir el estigma y normalizar la participación de personas con discapacidad en todos los ámbitos de la vida.

Este marco integrado no solo aborda barreras físicas e informativas, sino que también introduce un modelo sistémico de inclusión social, coherente con los principios de la Convención de la ONU sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CRPD), los estándares europeos de accesibilidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 10 y ODS 11).

Se enfatiza que la accesibilidad no es únicamente un asunto técnico o arquitectónico, sino un proceso social e institucional que requiere coordinación interdisciplinaria y una implementación basada en evidencia (Figura 2).



Fuente: Elaboración propia del autor

Figura 2. Interacción de barreras físicas, sociales y digitales que reducen la participación

Nota: El diagrama ilustra cómo múltiples barreras interactúan para limitar la participación general. El modelo se alinea con las directrices internacionales y los

estándares nacionales de accesibilidad, enfatizando la necesidad de intervenciones simultáneas y comprehensivas.

Accesibilidad digital y soluciones innovadoras

La accesibilidad digital en Ucrania sigue siendo fragmentaria e inconsistente con los estándares internacionales contemporáneos. Una proporción significativa de los sitios web gubernamentales y del sector privado, así como de las aplicaciones móviles, no está debidamente adaptada para personas con discapacidad, especialmente para adultos mayores y personas con limitaciones sensoriales o cognitivas. Actualmente, los mapas interactivos, los sistemas de navegación por voz, las interfaces adaptativas y los módulos de texto a voz se implementan solo en algunas ciudades principales y, en su mayoría, como iniciativas locales aisladas. La ausencia de un marco nacional unificado de inclusión digital limita la formación de un ecosistema integrado de servicios electrónicos centrado en el usuario y accesible a todos los ciudadanos, independientemente de sus capacidades físicas o cognitivas.

Para superar estas disparidades, es esencial establecer un marco sistemático de monitoreo de la inclusividad digital, integrando indicadores técnicos, sociales y organizativos. Este enfoque permite tanto la evaluación cuantitativa de los niveles de accesibilidad como la valoración de la eficiencia en la implementación de políticas a escalas local y nacional, proporcionando una base racional para la toma de decisiones y la priorización de inversiones en tecnologías inclusivas.

Para la evaluación sistémica de la accesibilidad digital, se aplica un método cuantitativo que permite determinar áreas prioritarias para la introducción de tecnologías adaptativas dirigidas a diversos grupos de usuarios (Fórmula 3).

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n a_i v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (3)$$

Donde:

- a_i - disponibilidad de un servicio digital particular (1 = disponible, 0 = no disponible);
- v_i - ponderación o importancia del servicio para un grupo de usuarios específico;
- n - número de servicios evaluados;
- D - indicador global de accesibilidad digital.

Fórmula 3. Evaluación sistemática de la accesibilidad digital

Este método no solo mide la presencia de características básicas de accesibilidad, sino que también define la importancia relativa de cada servicio para la participación socialmente integrada. Por ejemplo, la compatibilidad con lectores de pantalla y la navegación por voz son esenciales para personas con discapacidad visual, mientras que las interfaces adaptativas y los mapas interactivos con mínima interacción táctil son prioritarios para individuos con limitaciones de movilidad.

En Ucrania, la accesibilidad digital se regula mediante los Estándares Estatales de Construcción (DBN) [6], que establecen requisitos técnicos para infraestructura y servicios digitales accesibles para personas con discapacidad. A nivel internacional, principios similares se consagran en las directrices de inclusión digital de la Comisión Europea [5]. A pesar de este marco regulatorio, la implementación de soluciones innovadoras de accesibilidad sigue siendo limitada debido a la fragmentación sistémica, la insuficiencia de financiamiento y la falta de especialistas en diseño adaptativo.

Se requiere una estrategia integral que integre:

1. Desarrollo de plataformas digitales unificadas y accesibles;
2. Monitoreo y evaluación basados en indicadores cuantitativos;
3. Capacitación de especialistas en inclusión digital y diseño UX para personas con discapacidad;
4. Cooperación intersectorial entre actores gubernamentales, civiles y privados.

Este enfoque integrado garantiza no solo el derecho constitucional al acceso a la información y la participación en la vida pública, sino que también promueve la inclusión social, la eficiencia de los servicios públicos y el crecimiento de un ecosistema innovador a nivel nacional.

Discusión

Análisis de la eficacia de las soluciones inclusivas

La evidencia empírica indica que las medidas de inclusión física, social y digital en Ucrania se implementan de manera fragmentaria y no sistemática. A pesar de la existencia de marcos legales y estándares técnicos [5] y de la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad [3], la aplicación práctica sigue siendo inconsistente entre regiones y tipos institucionales.

Las medidas físicas, que incluyen rampas, puertas ensanchadas y baños accesibles, se implementan principalmente en edificios de nueva construcción o mediante proyectos de asistencia técnica internacional. Mientras tanto, la mayoría de las instalaciones existentes siguen siendo inaccesibles para personas con movilidad reducida.

Las iniciativas sociales dirigidas a personas con movilidad reducida se limitan en gran medida a proyectos locales a corto plazo y acciones de la sociedad civil, a menudo careciendo de apoyo institucional sostenible. Las soluciones de accesibilidad digital, como sitios web adaptativos, aplicaciones móviles y sistemas de asistencia por voz, se concentran predominantemente en las grandes ciudades y no se integran sistemáticamente en infraestructuras regionales o rurales.

Como consecuencia, la eficacia general de la inclusión sigue siendo baja, reflejada en el Índice de Inclusividad Compuesto ($I < 0,5$) calculado para la mayoría de las instituciones encuestadas.

Determinantes para la integración exitosa de la inclusión

El análisis de prácticas nacionales y experiencia internacional resalta varios determinantes clave para una integración inclusiva exitosa:

1. ***Enfoque integral y multidimensional.*** Los sistemas de inclusión más efectivos combinan mejoras físicas, mecanismos de apoyo social y soluciones de accesibilidad digital dentro de un marco integrado [5].
2. ***Desarrollo de capacidades y formación profesional.*** El personal en educación, salud y administración debe poseer competencias en comunicación inclusiva, gestión de accesibilidad y tecnologías asistivas. La formación periódica asegura la sostenibilidad de las prácticas inclusivas.
3. ***Participación comunitaria y compromiso de actores interesados.*** Involucrar a voluntarios, ONG locales, socios sociales y usuarios finales en la planificación, implementación y monitoreo de proyectos inclusivos mejora la legitimidad social y la relevancia práctica.
4. ***Apoyo normativo y legal.*** El cumplimiento de códigos de construcción nacionales y estándares locales de accesibilidad debe ser obligatorio en todas las fases de diseño, renovación y contratación pública. Integrar estos estándares en regulaciones municipales mejora significativamente la eficacia a largo plazo y la rendición de cuentas.

Desafíos para escalar y mantener prácticas inclusivas

A pesar del creciente número de proyectos piloto, la expansión sistémica de iniciativas inclusivas enfrenta desafíos persistentes:

- ***Restricciones financieras.*** La adaptación de edificios antiguos, la modernización de espacios públicos y la implementación de medidas de accesibilidad digital requieren inversiones de capital considerables.
- ***Fragmentación de iniciativas.*** Muchos proyectos inclusivos son aislados y de corta duración, careciendo de continuidad e integración en programas de desarrollo urbano o nacional más amplios.
- ***Brechas institucionales y administrativas.*** La débil coordinación entre agencias gubernamentales, autoridades locales y organizaciones comunitarias reduce la coherencia política.
- ***Barreras culturales y sociales.*** Los estereotipos persistentes y la comprensión limitada de las necesidades de las personas con discapacidad inhiben la creación de entornos inclusivos.

El papel de las alianzas público-privadas y del sector civil

La inclusión efectiva requiere cooperación estructurada entre instituciones gubernamentales, comunidades locales y organizaciones de la sociedad civil:

- El Estado regula, financia y establece estándares de accesibilidad.

- Las organizaciones de la sociedad civil actúan como ejecutores e intermediarios, participando en defensa y apoyo.
- Las autoridades locales coordinan la aplicación de estándares en espacios, instituciones y servicios digitales.

Un modelo de asociación tri-sectorial constituye la base de una política de inclusión sostenible, permitiendo la transición de intervenciones aisladas a una implementación sistémica alineada con la justicia social, la accesibilidad y la igualdad de oportunidades.

Conclusiones y recomendaciones prácticas

Conclusiones generales

El estudio demuestra que el estado del entorno inclusivo en Ucrania sigue siendo subdesarrollado. Los estándares internacionales y nacionales existentes proporcionan una base normativa, pero su implementación práctica es fragmentaria e inconsistente.

Conclusiones clave:

1. La accesibilidad física es limitada en edificios antiguos y espacios públicos debido a la falta de rampas, puertas estrechas y superficies irregulares.
2. La integración social está restringida por información limitada, escasa participación comunitaria y servicios de apoyo insuficientes.
3. La accesibilidad digital es desigual, especialmente en áreas regionales, limitando el acceso a información y servicios.
4. Las prácticas innovadoras son localizadas y carecen de mecanismos para escalar.
5. Las alianzas público-civil son críticas para la inclusión sistémica y el acceso equitativo.

Recomendaciones prácticas:

- **Enfoque integral:** integrar medidas físicas, sociales y digitales en una estrategia unificada.
- **Desarrollo de capacidades y formación:** preparar al personal de instituciones educativas, sanitarias y sociales en prácticas inclusivas.
- **Inclusión digital:** implementar estándares nacionales, interfaces adaptativas, orientación por voz y herramientas interactivas.
- **Financiación y modernización de infraestructura:** priorizar programas estatales y locales, establecer subvenciones específicas para proyectos de accesibilidad.
- **Coordinación y alianzas:** colaboración intersectorial entre gobierno, sociedad civil y comunidades locales para monitorear y asegurar el cumplimiento de los estándares.

La inclusividad es un proceso socio-legal integral que requiere coordinación, supervisión regulatoria y participación cívica activa, integrada en la planificación urbana, la educación y la gobernanza digital.

Referencias

1. UNESCO. (2020). Informe de Seguimiento de la Educación en el Mundo 2020: Inclusión y Educación – Todos Significa Todos. París, Francia: UNESCO Publishing.
2. Ainscow, M., & Booth, T. (2019). The Index for Inclusion: Developing Learning and Participation in Schools. Bristol, Reino Unido: Centre for Studies on Inclusive Education (CSIE).
3. Naciones Unidas. (2006). Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD). Nueva York, NY: Naciones Unidas.
4. Florian, L. (2020). On the necessary co-existence of inclusive education and special education. *International Journal of Inclusive Education*, 24(1), 1–16.
5. Comisión Europea. (2021). Unión de la Igualdad: Estrategia para los Derechos de las Personas con Discapacidad 2021–2030. Bruselas, Bélgica: Comisión Europea.
6. DBN V.2.2-40:2018. (2018). Edificios y Estructuras. Accesibilidad de Edificios e Instalaciones para Personas con Movilidad Reducida. Kyiv, Ucrania: Ministerio de Desarrollo Regional, Construcción y Servicios de Vivienda y Comunes de Ucrania.
7. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. (2018). World Wide Web Consortium (W3C).

[FR_4]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Environnement inclusif et potentiel de développement

Résumé

Le développement et la consolidation d'un environnement inclusif constituent des dimensions fondamentales du progrès sociétal, éducatif et urbain contemporain [1,2]. Garantir un accès équitable aux ressources éducatives, sociales, culturelles et numériques pour les personnes de capacités et de groupes d'âge diversifiés renforce considérablement la cohésion sociale, soutient le développement personnel et consolide la résilience institutionnelle [3,4]. Dans un contexte marqué par des crises mondiales, des conflits armés et des transformations technologiques rapides, la mise en place de mécanismes d'inclusion efficaces et durables s'impose comme une nécessité croissante [5].

Cette étude met en évidence les principaux déterminants des environnements inclusifs efficaces et propose des recommandations concrètes, fondées sur des données probantes, pour leur mise en œuvre dans les contextes sociaux, éducatifs et urbains [1,4]. Les objectifs de la recherche incluent une analyse approfondie des cadres théoriques contemporains de l'inclusion [2], l'évaluation des normes internationales et des meilleures pratiques [5], l'identification des obstacles structurels et opérationnels [3], ainsi que l'élaboration de solutions pratiques mobilisant les plateformes numériques et les outils spatiaux intelligents [4].

Le cadre méthodologique adopte une approche interdisciplinaire combinant des méthodes de recherche sociologiques, éducatives, urbanistiques et numériques [1,2]. La collecte de données a impliqué des enquêtes auprès d'experts, des évaluations de l'accessibilité physique et numérique, ainsi que l'application de critères d'évaluation visant à déterminer l'efficacité des environnements inclusifs [5].

Les résultats démontrent que l'inclusion efficace repose sur l'intégration coordonnée de solutions spatiales, sociales et numériques, sur l'engagement actif des parties prenantes, sur une planification systématique et sur la promotion de pratiques innovantes [4,1]. La portée pratique de l'étude réside dans la fourniture de lignes directrices structurées à l'intention des institutions éducatives, des acteurs de la société civile et des autorités publiques afin de renforcer l'inclusivité et l'accessibilité. L'originalité scientifique découle de l'élaboration d'un cadre d'évaluation global alignant les normes internationales sur les pratiques nationales tout en intégrant des technologies numériques avancées [2,4].

Mots-clés: inclusion, environnement inclusif, accessibilité, innovation sociale, technologies numériques, interdisciplinarité, pratiques éducatives.

Introduction

Un environnement inclusif constitue une composante fondamentale de l'intégration sociale et du développement durable au sein des communautés contemporaines [1,2]. Ce concept englobe non seulement l'infrastructure physique des établissements d'enseignement, des équipements publics et des centres culturels, mais également les espaces ouverts adjacents tels que les parcs, aires de jeux, zones piétonnes et autres espaces d'usage collectif. L'inclusivité s'étend également aux environnements numériques et aux infrastructures informationnelles, garantissant une accessibilité globale dans les dimensions physiques et virtuelles [5]. L'établissement de telles conditions assure un accès équitable à tous les groupes sociaux, en particulier aux personnes à mobilité réduite et aux personnes en situation de handicap, favorisant ainsi leur pleine participation à la vie civique, éducative et culturelle [3,4].

Dans un contexte contemporain marqué par les conflits armés, les crises sociales et les transformations technologiques rapides, la nécessité d'une approche multidimensionnelle de l'inclusion devient de plus en plus cruciale [4,1]. Le développement d'un environnement inclusif requiert le respect des cadres réglementaires et techniques, y compris des codes nationaux de construction tels que le DBN V.2.2-40:2018 « Bâtiments et structures. Accessibilité des bâtiments et structures pour les personnes à mobilité réduite » [6], ainsi que d'autres normes nationales et internationales encadrant l'accessibilité et les espaces sans barrières [6]. Ces instruments constituent la base juridique et technique garantissant que les espaces urbains et institutionnels répondent à l'ensemble des besoins sociétaux.

La portée scientifique et pratique de cette étude réside dans sa capacité à intégrer des solutions spatiales, sociales et numériques au sein d'un modèle conceptuel unifié de développement inclusif. Plus précisément, la création d'un environnement inclusif permet :

- Un accès universel aux ressources éducatives, sociales et culturelles, favorisant une pleine implication au sein des institutions sociétales ;
- Le développement du potentiel individuel par le soutien à l'apprentissage, à l'autoréalisation et à la participation sociale ;
- L'intégration des normes internationales avec les pratiques locales, permettant aux urbanistes, éducateurs et décideurs publics d'harmoniser les meilleures pratiques mondiales avec les réalités contextuelles [5,4].

L'objectif principal de l'étude est d'identifier les déterminants essentiels d'un environnement inclusif efficace et de formuler des recommandations pratiques pour leur mise en œuvre dans divers contextes sociaux, éducatifs et urbains [1]. Les tâches suivantes ont été définies pour atteindre cet objectif :

- Réaliser une analyse approfondie des concepts contemporains de l'inclusion, en mettant en évidence leurs fondements théoriques et leurs approches interdisciplinaires ;
- Évaluer les normes internationales et nationales d'accessibilité en termes de conformité juridique, d'applicabilité pratique et de faisabilité ;
- Identifier les obstacles rencontrés par les personnes à mobilité réduite, y compris les barrières physiques, sociales, culturelles et numériques ;
- Examiner les solutions pratiques intégrant la planification spatiale, la conception architecturale et les plateformes numériques afin de garantir une participation inclusive et un accès équitable.

L'exécution systématique de ces tâches favorisera le développement d'approches inclusives dans les politiques publiques, la conception urbaine et l'administration institutionnelle. En conséquence, cette étude souligne l'interdépendance étroite entre l'accessibilité, l'équité sociale et le développement durable, positionnant l'inclusion non seulement comme une obligation juridique ou éthique, mais comme une condition stratégique du progrès sociétal contemporain.

Revue théorique

Concept et définition de l'inclusion

L'inclusion est définie comme un processus multidimensionnel et dynamique visant à créer des conditions garantissant l'égalité d'accès, la participation active et l'engagement significatif de tous les groupes sociaux dans les processus de développement social, éducatif, culturel et urbain [1,4]. Ce concept englobe non seulement l'accessibilité physique des bâtiments, des espaces intérieurs et des zones publiques adjacentes, mais également l'intégration complète des ressources

numériques, informationnelles et communicationnelles, permettant la pleine participation des personnes à mobilité réduite, des personnes en situation de handicap, des personnes âgées ainsi que d'autres groupes marginalisés ou sous-représentés [3].

L'inclusion ne se limite pas à l'élimination des barrières physiques ; elle implique aussi la création de conditions sociales favorisant le soutien mutuel, la participation aux processus décisionnels et le développement des compétences interpersonnelles.

En outre, l'inclusion vise à renforcer la justice sociale, à élargir les opportunités de développement personnel et à améliorer l'interaction sociale. Elle favorise la constitution de communautés cohésives, participatives et solidaires, où tous les membres peuvent s'impliquer activement dans la vie civique, les processus éducatifs, les activités culturelles et les initiatives urbaines. Cette approche permet une évaluation globale des besoins des divers groupes de population et facilite une planification ainsi qu'une mise en œuvre plus efficaces des stratégies de développement inclusif, tant à l'échelle locale que nationale.

Évaluation quantitative de l'inclusivité

L'indice d'inclusivité (I) constitue un indicateur quantitatif global conçu pour évaluer le niveau d'inclusivité d'un environnement donné et analyser ses composantes. Son application permet aux parties prenantes, décideurs politiques, urbanistes et responsables d'établissements éducatifs ou publics d'évaluer objectivement l'accessibilité physique, sociale et numérique, ainsi que le degré de participation active des différents groupes de population. L'intégration de cet indicateur dans les processus de planification, de suivi et d'évaluation des politiques permet d'identifier les faiblesses des pratiques inclusives, de comparer différents espaces et de mesurer l'efficacité des mesures mises en œuvre.

Plus précisément :

- La composante P — Accessibilité physique évalue la présence de rampes, d'ascenseurs, de surfaces tactiles, d'entrées adaptées et d'espaces publics avoisinants. Par exemple, les universités dont la majorité des bâtiments sont adaptés aux personnes à mobilité réduite obtiennent des scores élevés, tandis que les bâtiments administratifs anciens présentent souvent des obstacles importants.
- La composante S — Intégration sociale et participation englobe l'accessibilité de la communication, la disponibilité des services de soutien et la participation communautaire aux processus décisionnels. Les centres culturels proposant une traduction en langue des signes et des programmes pour les personnes âgées enregistrent des valeurs plus élevées pour cette composante.
- La composante D — Accessibilité numérique prend en compte la conformité aux normes WCAG, la présence d'interfaces adaptatives et l'intégration des

technologies d'assistance. Les portails municipaux compatibles avec les lecteurs d'écran et les assistants vocaux illustrent un haut niveau d'inclusion numérique.

L'utilisation de cet indice fournit une base scientifique pour la planification des projets d'infrastructure, sociaux et numériques, garantit l'égalité des chances et établit des critères d'analyse comparative. Elle soutient également l'élaboration de recommandations pratiques visant à renforcer l'inclusivité et la durabilité dans différents environnements (formule 1) :

$$I = w_1P + w_2S + w_3D \quad (1)$$

où :

- w_1, w_2, w_3 - représentent les coefficients de pondération reflétant la priorité relative de chaque composante ;
- P - désigne l'accessibilité physique des bâtiments, des espaces intérieurs et des zones publiques adjacentes ;
- S - correspond à l'intégration sociale et à la participation aux activités sociales, éducatives et culturelles ;
- D - renvoie à l'accessibilité numérique, y compris les plateformes en ligne et les outils technologiques nécessaires à une participation complète.

Le modèle proposé combine des approches normatives, pratiques et analytiques, en s'appuyant sur les cadres internationaux [1], les directives de l'ONU et de l'Union européenne, les recommandations de l'OMS et les normes nationales ukrainiennes [6] qui définissent les exigences relatives aux environnements sans barrières et à la conception universelle. Sa base conceptuelle vise à établir un mécanisme intégré d'évaluation de l'inclusivité associant indicateurs quantitatifs et qualitatifs, conformément aux principes de développement durable, d'égalité des chances et de gouvernance participative.

Cette approche permet une analyse comparative entre institutions et secteurs — des établissements d'enseignement jusqu'aux systèmes d'infrastructure municipale — tout en identifiant les domaines prioritaires de modernisation. L'intégration systématique de l'indice d'inclusivité (I) dans les stratégies de développement communautaire, la planification universitaire et les projets urbains renforce non seulement le contrôle de la qualité, mais améliore également l'efficacité des ressources, la cohésion sociale et la responsabilité institutionnelle.

De plus, le modèle présente une valeur prédictive : grâce aux données recueillies, il permet d'identifier les déséquilibres structurels, de déterminer les groupes à risque et de simuler des scénarios à long terme pour améliorer l'inclusivité. Pour les praticiens — urbanistes, administrateurs d'établissements éducatifs, architectes et experts en politiques sociales — cet outil analytique peut servir de base à la prise de décision managériale, à la justification des financements et à la

conception d'interventions adaptatives ou technologiques dans le cadre des smart cities.

Ainsi, le modèle assure une évaluation globale de l'accessibilité et de la participation, tout en consolidant la base empirique pour la mise en œuvre de la stratégie nationale de l'Ukraine en matière de développement inclusif et durable (tableau 1).

Tableau 1. Principales composantes et exemples de mesure de l'inclusivité

Composante	Description	Exemple de score (0–1)	Source de données
P — Accessibilité physique	Présence de rampes, ascenseurs, surfaces tactiles, entrées adaptées, parcs et zones piétonnes	0,8 – universités dont la majorité des bâtiments sont adaptés	DBN V.2.2-40:2018
S — Intégration sociale	Accessibilité de la communication, services de soutien, programmes inclusifs, participation à la prise de décision	0,9 – centres culturels avec interprétation en langue des signes, programmes pour personnes âgées	Enquêtes, suivi interne
D — Accessibilité numérique	Conformité aux normes WCAG, technologies d'assistance, adaptation mobile	1,0 – portail municipal compatible avec les lecteurs d'écran	WCAG 2.1, ISO/IEC 40500

Source : élaboration propre sur la base de [6,7].

Explication des composantes du modèle

1. Coefficients de pondération (w_1, w_2, w_3).

Les coefficients de pondération représentent l'importance relative de chaque composante dans des contextes sociaux, éducatifs ou urbains spécifiques. Ils permettent d'adapter le modèle aux besoins de différents groupes d'utilisateurs. Par exemple, dans les établissements d'enseignement, w_1 (accessibilité physique) et w_3 (accessibilité numérique) revêtent une plus grande importance en raison de la nécessité de disposer d'espaces d'apprentissage sans obstacles et d'une infrastructure d'e-learning adaptée. À l'inverse, dans les environnements culturels ou urbains, w_2 (participation sociale) acquiert une signification plus marquée, garantissant l'inclusivité dans la communication publique et la participation communautaire.

Pour la normalisation, la somme totale des coefficients de pondération est égale à un (équation 2) :

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (2).$$

2. Accessibilité physique (P).

Ce paramètre évalue les solutions architecturales et spatiales, telles que les rampes, ascenseurs, largeurs de portes, surfaces tactiles, éclairage et

signalétique. L'évaluation repose sur la conformité au Code national de construction de l'Ukraine DBN V.2.2-40:2018 [6] et aux normes internationales ISO/EN définissant les exigences d'accessibilité et les principes de conception universelle.

3. *Intégration sociale et participation (S).*

Cette composante mesure le niveau d'implication publique et d'interaction entre différents groupes de population. Elle prend en compte la disponibilité des services d'accompagnement, l'accessibilité de la communication, la présence de programmes inclusifs et la représentation dans les processus décisionnels. L'intégration sociale constitue un indicateur de l'engagement réel, du sentiment d'appartenance communautaire et de la confiance mutuelle, au-delà de la simple inclusion physique.

4. *Accessibilité numérique (D).*

Le paramètre D évalue l'accès aux plateformes et services numériques, la conformité à la norme WCAG 2.1 [7], ainsi que l'utilisation de technologies d'assistance destinées aux utilisateurs présentant des déficiences visuelles, auditives ou motrices. Il tient également compte de l'adaptabilité mobile et de la clarté de la conception des interfaces.

L'élargissement de l'inclusion numérique permet une participation équitable à l'éducation, à l'emploi, à la vie civique et à l'accès aux services administratifs.

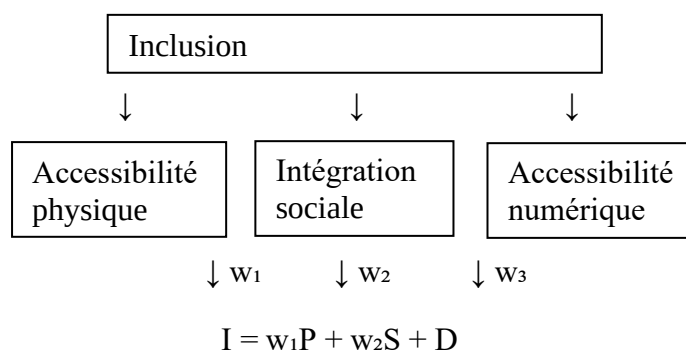


Figure 1. Représentation schématique du modèle d'indice d'inclusivité

Source : élaboration de l'auteur.

Applications pratiques :

- **Aménagement urbain** : le calcul de l'indice I pour les espaces publics permet d'identifier les priorités d'amélioration des infrastructures (rampes, itinéraires de transport accessibles, services numériques).
- **Établissements d'enseignement** : les universités peuvent utiliser l'indice pour évaluer l'accessibilité des campus, la qualité de l'engagement numérique et l'égalité de participation.

- **Politiques publiques** : les autorités gouvernementales peuvent employer I comme indicateur de suivi de la conformité aux normes nationales et internationales d'accessibilité, ainsi que pour optimiser l'allocation des ressources.

Interprétation des résultats.

Des valeurs élevées de I indiquent un environnement plus inclusif, où les dimensions d'accessibilité physique, sociale et numérique sont intégrées de manière cohérente. Le modèle permet d'effectuer des comparaisons entre institutions, villes et régions, d'identifier les points forts et de soutenir une planification et une amélioration fondées sur des données probantes.

En définitive, ce cadre propose une approche structurée, mesurable et sensible au contexte pour l'évaluation de l'inclusivité, transformant un jugement essentiellement qualitatif en un système d'évaluation quantitative fondé scientifiquement.

Environnement inclusif et potentiel de développement : normes et pratiques internationales

Le principe d'inclusion est consacré par les principales conventions et cadres politiques internationaux, qui établissent une base juridique et normative unifiée garantissant l'égalité d'accès et de participation dans les sphères sociale, éducative, culturelle et urbaine.

1. ***Convention des Nations Unies relative aux droits des personnes handicapées [3]*** assure le droit à l'éducation, à la culture et aux services sociaux sans discrimination. Elle oblige les États à promouvoir l'accessibilité universelle et à éliminer les barrières physiques, sociales et informationnelles.

Une attention particulière est accordée à la participation des personnes en situation de handicap aux processus décisionnels, affirmant l'inclusion comme un principe à la fois juridique et humanitaire.

2. ***Initiative de l'UNESCO "Éducation pour tous" [1]*** encourage la création de programmes scolaires inclusifs, la formation des enseignants, la mise en place d'environnements d'apprentissage adaptatifs et l'élaboration de politiques favorisant le développement du potentiel de chaque apprenant.

La pédagogie inclusive renforce à la fois la réussite académique et l'intégration sociale, tout en répondant aux inégalités issues de limitations physiques, cognitives ou socio-économiques.

3. ***Lignes directrices de la Commission européenne sur l'éducation inclusive et l'espace public accessible [5]*** fournissent un cadre méthodologique pour la construction de systèmes éducatifs et d'environnements urbains inclusifs, en intégrant les dimensions architecturale, sociale et numérique de l'accessibilité.

Elles introduisent également des mécanismes de suivi permettant d'évaluer la conformité aux normes et l'efficacité des stratégies d'inclusion.

Impact sur les politiques et les pratiques.

Les normes internationales orientent la législation nationale et les stratégies institutionnelles en intégrant les dimensions physique, sociale et numérique de l'accessibilité. Leur mise en œuvre favorise l'élaboration de politiques fondées sur des données probantes, renforce la responsabilité institutionnelle et harmonise les approches inclusives entre les pays et les secteurs.

Ainsi, le respect de ces normes permet aux gouvernements, aux établissements d'enseignement et aux urbanistes de créer des environnements conformes aux obligations légales, tout en promouvant l'équité sociale, la participation citoyenne et le développement durable.

Barrières et défis des environnements inclusifs

Malgré la reconnaissance croissante de l'importance de l'inclusion, de multiples obstacles continuent d'entraver la participation pleine et entière des divers groupes sociaux dans les contextes éducatifs, culturels, sociaux et urbains. Ces obstacles peuvent être classés en quatre dimensions interconnectées : physique, sociale, numérique et culturelle.

Les barrières physiques comprennent l'inaccessibilité des bâtiments, des espaces publics et des infrastructures intérieures — telles que l'absence de rampes, d'ascenseurs, d'indicateurs tactiles ou de passages suffisamment larges — limitant la mobilité des personnes handicapées et des personnes âgées, et affectant indirectement leur participation sociale.

Les barrières sociales concernent la persistance des stéréotypes, le manque de sensibilisation et l'insuffisance du soutien communautaire, qui entraînent l'exclusion des processus décisionnels et restreignent l'accès au mentorat et aux réseaux sociaux.

Les barrières numériques se manifestent par une conception inadéquate des plateformes en ligne, l'absence de technologies d'assistance et le manque d'outils numériques adaptatifs, entravant l'engagement éducatif, professionnel et civique.

Les barrières culturelles apparaissent lorsque les programmes ou services ne tiennent pas compte de la diversité ethnique, linguistique, générationnelle ou culturelle, entraînant un accès inégal et une participation réduite.

Approche intégrée.

La résolution de ces obstacles nécessite une stratégie multidimensionnelle combinant cadres réglementaires, amélioration des infrastructures, mobilisation sociale et innovation technologique. Les normes fondées sur des données probantes et les pratiques internationales offrent une base méthodologique pour l'élimination systématique des barrières.

Des interventions globales renforcent la cohésion sociale, élargissent les opportunités pour tous les citoyens et soutiennent le développement durable, transformant l'inclusion d'un principe normatif en une pratique sociétale concrète.

Méthodologie d'évaluation des environnements inclusifs

Cette étude a adopté une approche interdisciplinaire intégrant les sciences sociales, l'éducation, l'urbanisme et les méthodologies numériques [1,4]. Ce cadre permet une évaluation globale de l'accessibilité physique, de la participation sociale, de l'inclusion numérique et du potentiel de développement des usagers [5,2], reflétant l'interaction des facteurs structurels, sociaux et technologiques.

L'évaluation de l'inclusivité s'est appuyée sur trois dimensions fondamentales formant l'Indice d'inclusivité (I) :

1. **Accessibilité physique (P)**: bâtiments, espaces intérieurs, zones publiques adjacentes et zones piétonnes ; les éléments clés incluent rampes, ascenseurs, signalétique et entrées sans obstacles [6].
2. **Participation sociale (S)**: engagement des personnes à mobilité réduite dans les activités éducatives, culturelles et communautaires ; mesuré par la participation, la satisfaction des usagers et le soutien communautaire [4].
3. **Accessibilité numérique (D)**: accès aux plateformes numériques, aux services en ligne et aux ressources informationnelles ; évalué à travers l'utilisabilité, la compatibilité avec les technologies d'assistance et la disponibilité des guides et instructions [5].

Les méthodes de collecte de données comprenaient des enquêtes auprès d'experts et d'usagers, des audits spatiaux (sur le terrain et numériques) ainsi que des études de cas comparatives des pratiques locales et internationales [5,4].

Les critères d'évaluation ont porté sur l'accès physique, l'intégration sociale, l'inclusion numérique et le potentiel d'innovation/développement.

Ce cadre méthodologique offre une évaluation concise et multidimensionnelle de l'inclusivité, fournissant des orientations pratiques aux urbanistes, décideurs, éducateurs et leaders communautaires.

Résultats pratiques

Afin d'évaluer l'inclusivité des environnements construits et sociaux, une enquête de terrain a été menée au sein d'institutions représentatives en Ukraine — comprenant des établissements éducatifs, des hôpitaux, des bâtiments de services publics et les espaces communautaires adjacents. La recherche a combiné observation quantitative, cartographie de l'accessibilité spatiale et retour qualitatif des usagers, permettant une évaluation complète de l'accessibilité physique et perceptuelle.

L'étude s'est concentrée principalement sur les personnes à mobilité réduite — personnes en situation de handicap, citoyens âgés et individus présentant des

limitations physiques temporaires — considérées comme des indicateurs clés de l'inclusivité dans la conception urbaine et institutionnelle.

Par ailleurs, l'accessibilité numérique et informationnelle a été examinée afin d'évaluer la capacité des institutions à soutenir une participation sociale hybride, particulièrement pertinente dans les contextes de reconstruction post-crise et post-conflit.

Accessibilité physique

L'évaluation a montré que la majorité des bâtiments étudiés et de leurs abords se conforment partiellement aux normes nationales d'accessibilité (DBN) [6], révélant un écart persistant entre la réglementation formelle et la mise en œuvre pratique.

Les insuffisances les plus critiques peuvent être regroupées en quatre dimensions interconnectées :

1. Déficiences des entrées et de l'adaptation intérieure
 - Dans de nombreux cas, les rampes sont absentes ou construites avec des pentes inappropriées, les rendant dangereuses pour les utilisateurs de fauteuils roulants.
 - Les couloirs et portes étroits des infrastructures anciennes limitent la mobilité et la capacité d'évacuation, réduisant l'inclusivité fonctionnelle.
2. Accès restreint aux infrastructures et services essentiels
 - Les toilettes accessibles sont disponibles principalement dans les installations récentes ; la signalisation et les marquages tactiles restent rares.
3. Inaccessibilité des espaces adjacents et publics partagés
 - Les voies piétonnes irrégulières et l'accès limité aux voies de circulation entravent la mobilité sécurisée et autonome.
 - L'absence de rampes, de mains courantes et de barrières de protection augmente le risque de blessures et limite l'accès sûr aux bâtiments.
 - La mauvaise conception des espaces publics contribue à l'isolement social et réduit la participation communautaire des personnes à mobilité réduite.
4. Impact des obstacles physiques sur l'intégration sociale et l'inclusion
 - Les déficiences en matière d'accessibilité physique affectent directement les opportunités d'éducation, d'engagement culturel et d'interaction sociale, réduisant ainsi l'autonomie et l'implication communautaire.
 - Les obstacles physiques s'accompagnent souvent de barrières psychologiques, telles que la peur de se blesser ou l'anticipation de difficultés, décourageant la participation active.

L'analyse intégrée souligne la nécessité urgente d'une modernisation systématique de l'environnement bâti. Ces mesures sont essentielles pour constituer une infrastructure résiliente et inclusive, garantissant confort, sécurité et

participation active des groupes à mobilité réduite à la vie sociale et économique (Tableau 2).

Tableau 2. Accessibilité physique des institutions et des espaces environnants

Type d'institution	Groupe cible	Conformité DBN	Obstacles identifiés	Source de données
École	Élèves en situation de handicap	Partielle	Absence de rampes à l'entrée principale ; couloirs étroits	Recherche de terrain
Hôpital	Personnes âgées, personnes à mobilité réduite	Partielle	Nombre limité d'ascenseurs ; toilettes inaccessibles	Recherche de terrain
Administration publique	Grand public, utilisateurs de fauteuils roulants	Faible	Trottoirs irréguliers ; signalisation insuffisante	Recherche de terrain
Centre culturel	Tous les usagers	Partielle	Rampes raides ; places limitées pour les visiteurs âgés	Recherche de terrain

Source : élaboration propre de l'auteur.

Ces résultats fournissent des preuves empiriques pour formuler des recommandations politiques visant à améliorer l'inclusivité urbaine. La nouveauté de l'étude réside dans l'intégration d'audits physiques, d'analyses de perception des usagers et d'évaluations normatives au sein d'un cadre d'évaluation unique.

Une telle approche interdisciplinaire contribue au développement de stratégies de planification urbaine fondées sur des données probantes, en accord avec les principes de la Convention des Nations Unies relative aux droits des personnes handicapées et les Objectifs de développement durable (ODD), en particulier l'Objectif 11 — Villes et communautés durables.

Participation et intégration sociale

Les populations à mobilité réduite demeurent largement sous-représentées dans les sphères sociale, éducative et culturelle en raison de l'influence persistante des barrières physiques, psychologiques et organisationnelles. L'accessibilité limitée des infrastructures urbaines — incluant l'absence de rampes, d'ascenseurs et de transports adaptés, ainsi que des surfaces inégales et des couloirs étroits — continue de restreindre la mobilité et la participation. Les facteurs psychologiques, tels que la peur de se blesser, la dépendance perçue et les stéréotypes sociaux persistants, accentuent le sentiment d'exclusion. Les déficiences institutionnelles et organisationnelles, notamment la coordination fragmentée entre les autorités, l'insuffisance des mécanismes de soutien et l'absence de systèmes d'information complets, aggravent l'isolement social et entravent l'inclusion pleine des personnes handicapées dans la vie communautaire.

Surmonter ces barrières multidimensionnelles nécessite une approche systémique et interdisciplinaire, combinant innovation technologique et soutien social et psychologique. La mise en œuvre de technologies d'assistance, telles que les dispositifs de mobilité intelligents, les infrastructures adaptatives et les plateformes d'accessibilité numérique, joue un rôle crucial pour restaurer l'autonomie et la participation. Également importantes sont les programmes de rééducation et d'intégration sociale, visant à développer l'auto-efficacité, la résilience psychologique et les opportunités d'emploi pour les personnes en situation de handicap. Dans ce contexte, la coopération entre autorités publiques, société civile et partenaires internationaux constitue un facteur décisif pour construire des environnements inclusifs et des réseaux de réhabilitation durables.

Bases méthodologiques: Les résultats s'appuient sur une combinaison d'observations de terrain, d'enquêtes structurées et d'audits d'accessibilité réalisés dans des institutions éducatives, médicales et administratives en Ukraine. L'approche méthodologique mixte a permis une évaluation nuancée à la fois des indicateurs quantitatifs d'accessibilité et des dimensions qualitatives de l'expérience sociale, mettant en évidence des lacunes systémiques affectant la participation quotidienne.

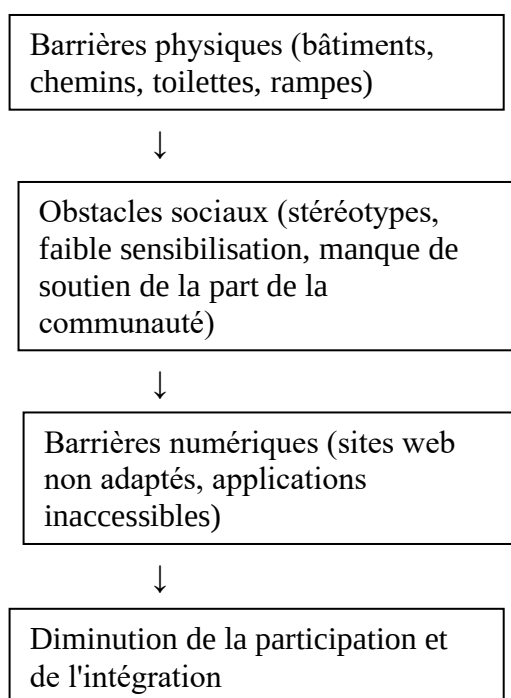
Conséquences: Ces barrières interconnectées produisent un effet cumulatif — réduisant l'implication éducative et culturelle, limitant les perspectives d'emploi et portant atteinte aux droits constitutionnels et humains à un accès égal. L'exclusion prolongée entraîne une diminution des interactions sociales, de l'auto-efficacité et de l'identité civique des personnes à mobilité réduite, affaiblissant la résilience et l'inclusivité des communautés.

Recommandations innovantes:

- Développer des réseaux de soutien complets (assistants, bénévoles et travailleurs sociaux) formés aux pratiques inclusives pour accompagner les participants et faciliter leur participation sécurisée à la vie publique.
- Renforcer la coopération entre autorités municipales, ONG et organisations communautaires afin de coordonner des initiatives éducatives et culturelles accessibles.
- Améliorer l'accessibilité de l'information via des systèmes de communication adaptatifs, des ressources web accessibles, une signalisation tactile et des supports multilingues compatibles avec les technologies d'assistance.
- Mener des campagnes continues de sensibilisation et d'éducation publique pour promouvoir une culture inclusive, réduire la stigmatisation et normaliser la participation des personnes en situation de handicap dans toutes les sphères de la vie.

Ce cadre intégré ne se limite pas à traiter les obstacles physiques et informationnels, mais propose également un modèle systémique d'inclusion sociale, conforme aux principes de la CRPD de l'ONU, aux normes européennes d'accessibilité et aux Objectifs de développement durable (ODD 10 et ODD 11).

Il souligne que l'accessibilité n'est pas seulement une question technique ou architecturale, mais un processus sociétal et institutionnel requérant coordination interdisciplinaire et mise en œuvre fondée sur des preuves (Figure 2).



Source : Élaboration de l'auteur

Figure 2. Interaction des barrières physiques, sociales et numériques réduisant la participation

Remarque : Le diagramme illustre la manière dont de multiples barrières interagissent pour limiter la participation globale. Le modèle est aligné sur les directives internationales et les normes nationales d'accessibilité, soulignant la nécessité d'interventions simultanées et globales.

Accessibilité numérique et solutions innovantes

L'accessibilité numérique en Ukraine reste fragmentée et n'est pas conforme aux normes internationales contemporaines. Une part significative des sites web gouvernementaux et du secteur privé, ainsi que des applications mobiles, n'est pas correctement adaptée aux personnes en situation de handicap, en particulier les personnes âgées et celles présentant des déficiences sensorielles ou cognitives. Actuellement, les cartes interactives, les systèmes de navigation vocale, les interfaces adaptatives et les modules de synthèse vocale ne sont mis en œuvre que dans quelques grandes villes, et principalement sous forme d'initiatives locales isolées. L'absence d'un cadre national unifié pour l'inclusion numérique limite la

formation d'un écosystème intégré de services électroniques centrés sur l'utilisateur et accessibles à tous les citoyens, indépendamment de leurs capacités physiques ou cognitives.

Pour surmonter ces disparités, il est essentiel d'établir un cadre systématique de suivi de l'inclusivité numérique, intégrant des indicateurs techniques, sociaux et organisationnels. Cette approche permet à la fois l'évaluation quantitative des niveaux d'accessibilité et l'évaluation de l'efficacité de la mise en œuvre des politiques aux échelles locale et nationale, fournissant une base rationnelle pour la prise de décision et la priorisation des investissements dans les technologies inclusives.

Pour l'évaluation systémique de l'accessibilité numérique, une méthode quantitative est appliquée, permettant de déterminer les domaines prioritaires pour l'introduction de technologies adaptatives adaptées à diverses catégories d'utilisateurs (formule 3).

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n a_i v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (3)$$

où :

- a_i - disponibilité d'un service numérique particulier (1 = disponible, 0 = indisponible) ;
- v_i - poids ou importance du service pour un groupe d'utilisateurs spécifique ;
- n - nombre de services évalués ;
- D - indicateur global de l'accessibilité numérique.

Formule 3. Évaluation systématique de l'accessibilité numérique

Cette méthode mesure non seulement la présence des fonctionnalités de base d'accessibilité, mais définit également l'importance relative de chaque service pour une participation socialement intégrée. Par exemple, la compatibilité avec les lecteurs d'écran et la navigation vocale sont cruciales pour les personnes malvoyantes, tandis que les interfaces adaptatives et les cartes interactives nécessitant une interaction minimale avec l'écran tactile sont prioritaires pour les personnes à mobilité réduite.

En Ukraine, l'accessibilité numérique est régie par les Normes de construction nationales (DBN) [6], qui définissent les exigences techniques pour les infrastructures et services numériques accessibles aux personnes en situation de handicap. Au niveau international, des principes similaires sont inscrits dans les lignes directrices de la Commission européenne sur l'inclusion numérique [5]. Malgré ce cadre réglementaire, la mise en œuvre de solutions innovantes d'accessibilité reste limitée en raison de la fragmentation systémique, du financement insuffisant et du manque de spécialistes en conception adaptative.

Une stratégie globale est nécessaire, intégrant :

1. Le développement de plateformes numériques accessibles unifiées ;
2. Le suivi et l'évaluation basés sur des indicateurs quantitatifs ;
3. La formation de spécialistes en inclusion numérique et en conception UX pour les personnes en situation de handicap ;
4. La coopération intersectorielle entre les acteurs gouvernementaux, civiques et privés.

Cette approche intégrée garantit non seulement le droit constitutionnel à l'accès à l'information et à la participation à la vie publique, mais favorise également l'inclusion sociale, l'efficacité des services publics et le développement d'un écosystème innovant à l'échelle nationale.

Discussion

Analyse de l'efficacité des solutions inclusives

Les données empiriques indiquent que les mesures d'inclusion physique, sociale et numérique en Ukraine sont mises en œuvre de manière fragmentée et non systématique. Malgré l'existence de cadres législatifs et de normes techniques [5] ainsi que de la Convention des Nations Unies [3], la mise en pratique reste inconstante selon les régions et les types d'institutions.

Les mesures physiques, telles que les rampes, les portes élargies et les sanitaires accessibles, sont principalement mises en place dans les bâtiments récemment construits ou dans le cadre de projets d'assistance technique internationale. En revanche, la plupart des infrastructures existantes restent inaccessibles aux personnes à mobilité réduite.

Les initiatives sociales visant les personnes à mobilité réduite se limitent en grande partie à des projets locaux de courte durée et à des actions de la société civile, souvent dépourvues d'un soutien institutionnel durable. Les solutions d'accessibilité numérique, telles que les sites web adaptatifs, les applications mobiles et les systèmes d'assistance vocale, sont majoritairement concentrées dans les grandes villes et ne sont pas intégrées de manière systématique aux infrastructures régionales ou rurales.

Par conséquent, l'efficacité globale de l'inclusion demeure faible, comme en témoigne l'indice composite d'inclusivité ($I < 0,5$) calculé pour la majorité des institutions étudiées.

Déterminants d'une intégration réussie de l'inclusion

L'analyse des pratiques nationales et de l'expérience internationale met en évidence plusieurs déterminants clés pour une intégration réussie de l'inclusion :

- 1. Approche globale et multidimensionnelle:** Les systèmes d'inclusion les plus efficaces combinent améliorations physiques, mécanismes de soutien social et solutions d'accessibilité numérique dans un cadre intégré [5].

2. **Renforcement des capacités et formation professionnelle:** Le personnel des secteurs éducatif, sanitaire et administratif doit posséder des compétences en communication inclusive, en gestion de l'accessibilité et en technologies d'assistance. Une formation régulière garantit la durabilité des pratiques inclusives.
3. **Participation communautaire et engagement des parties prenantes:** L'implication de bénévoles, d'ONG locales, de partenaires sociaux et d'utilisateurs finaux dans la planification, la mise en œuvre et le suivi des projets inclusifs renforce la légitimité sociale et la pertinence pratique.
4. **Soutien normatif et juridique:** Le respect des codes de construction nationaux et des normes locales d'accessibilité doit être obligatoire à toutes les étapes de la conception, de la rénovation et des marchés publics. L'intégration de ces standards dans la réglementation municipale améliore significativement l'efficacité à long terme et la responsabilité.

Défis pour l'extension et la pérennisation des pratiques inclusives

Malgré le nombre croissant de projets pilotes, l'extension systémique des initiatives d'inclusion se heurte à des défis persistants :

- **Contraintes financières:** La rénovation des bâtiments anciens, la modernisation des espaces publics et la mise en œuvre de mesures d'accessibilité numérique nécessitent des investissements en capital substantiels.
- **Fragmentation des initiatives:** De nombreux projets d'inclusion sont isolés et de courte durée, manquant de continuité et d'intégration dans des programmes de développement urbain ou national plus larges.
- **Lacunes institutionnelles et administratives:** Une coordination faible entre les agences gouvernementales, les autorités locales et les organisations communautaires réduit la cohérence des politiques.
- **Barrières culturelles et sociales:** Les stéréotypes persistants et la compréhension limitée des besoins des personnes en situation de handicap entravent la création d'environnements inclusifs.

Rôle des partenariats public-privé et avec la société civile

Une inclusion efficace nécessite une coopération structurée entre les institutions gouvernementales, les communautés locales et les organisations de la société civile :

- L'État régule, finance et définit les normes d'accessibilité.
- Les organisations de la société civile agissent comme exécutants et intermédiaires, engagés dans le plaidoyer et le soutien.
- Les autorités locales jouent le rôle de coordinateurs de l'application des normes dans les espaces, les institutions et les services numériques.

Un modèle de partenariat tripartite constitue la base d'une politique d'inclusion durable, permettant la transition d'interventions isolées vers une mise en œuvre systémique alignée sur la justice sociale, l'accessibilité et l'égalité des chances.

Conclusions et recommandations pratiques

Conclusions générales

L'étude démontre que l'état de l'environnement inclusif en Ukraine demeure insuffisamment développé. Les normes internationales et nationales existantes fournissent une base normative, mais leur mise en œuvre pratique reste fragmentée et incohérente.

Principales conclusions :

1. L'accessibilité physique est limitée dans les bâtiments anciens et les espaces publics en raison de l'absence de rampes, de portes étroites et de surfaces inégales.
2. L'intégration sociale est entravée par un accès limité à l'information, un faible engagement communautaire et des services de soutien insuffisants.
3. L'accessibilité numérique est inégale, en particulier dans les zones régionales, restreignant l'accès à l'information et aux services.
4. Les pratiques innovantes restent localisées, sans mécanismes de généralisation.
5. Les partenariats public-civil sont essentiels pour une inclusion systémique et un accès équitable.

Recommandations pratiques :

- **Approche globale:** intégrer les mesures physiques, sociales et numériques dans une stratégie unifiée.
- **Renforcement des capacités et formation:** préparer le personnel des institutions éducatives, sanitaires et sociales aux pratiques inclusives.
- **Inclusion numérique:** mettre en œuvre les normes nationales, interfaces adaptatives, guidage vocal et outils interactifs.
- **Financement et modernisation des infrastructures:** prioriser les programmes étatiques et locaux, créer des subventions ciblées pour les projets d'accessibilité.
- **Coordination et partenariats:** favoriser la collaboration intersectorielle entre l'État, la société civile et les communautés locales pour suivre et garantir le respect des normes.

L'inclusivité constitue un processus socio-juridique global nécessitant coordination, supervision réglementaire et engagement civique actif, intégré dans l'urbanisme, l'éducation et la gouvernance numérique.

Références

1. UNESCO. (2020). Global Education Monitoring Report 2020: Inclusion and Education – All Means All. Paris, France : UNESCO Publishing.
2. Ainscow, M., & Booth, T. (2019). The Index for Inclusion: Developing Learning and Participation in Schools. Bristol, Royaume-Uni : Centre for Studies on Inclusive Education (CSIE).
3. Nations Unies. (2006). Convention relative aux droits des personnes handicapées (CDPH). New York, NY : Nations Unies.
4. Florian, L. (2020). On the necessary co-existence of inclusive education and special education. International Journal of Inclusive Education, 24(1), 1–16.
5. Commission européenne. (2021). Union of Equality: Strategy for the Rights of Persons with Disabilities 2021–2030. Bruxelles, Belgique : Commission européenne.
6. DBN V.2.2-40:2018. (2018). Bâtiments et structures. Accessibilité des bâtiments et installations pour les personnes à mobilité réduite. Kiev, Ukraine : Ministère du Développement régional, de la Construction et des Services de logement et communaux d'Ukraine.
7. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. (2018). World Wide Web Consortium (W3C).

[DE-4]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Inklusive Umgebung und Entwicklungspotenzial

Zusammenfassung

Die Entwicklung und Förderung eines inklusiven Umfelds stellen grundlegende Dimensionen des gegenwärtigen gesellschaftlichen, bildungspolitischen und städtebaulichen Fortschritts dar [1,2]. Die Gewährleistung eines gerechten Zugangs zu Bildungs-, Sozial-, Kultur- und digitalen Ressourcen für Menschen mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Altersgruppen trägt wesentlich zur sozialen Kohäsion bei, unterstützt die persönliche Entwicklung und stärkt die institutionelle Resilienz [3,4]. Im Kontext globaler Krisen, bewaffneter Konflikte und rapider technologischer Transformationen wird die Schaffung wirksamer und nachhaltiger Inklusionsmechanismen zunehmend unabdingbar [5].

Diese Studie hebt die wichtigsten Determinanten effektiver inklusiver Umgebungen hervor und schlägt umsetzbare, evidenzbasierte Empfehlungen für die Implementierung in sozialen, bildungspolitischen und urbanen Kontexten vor [1,4]. Die Forschungsziele umfassen eine umfassende Analyse zeitgenössischer theoretischer Inklusionsrahmen [2], die Bewertung internationaler Standards und bewährter Praktiken [5], die Identifikation struktureller und operativer Barrieren [3] sowie die Entwicklung praktischer Lösungen unter Nutzung digitaler Plattformen und rauminformierter Instrumente [4].

Der methodologische Rahmen folgt einem interdisziplinären Ansatz, der soziologische, pädagogische, städtebauliche und digitale Forschungsmethoden kombiniert [1,2]. Die Datenerhebung umfasste Expertenbefragungen, Bewertungen physischer und digitaler Zugänglichkeit sowie die Anwendung evaluativer Kriterien zur Bestimmung der Wirksamkeit inklusiver Umgebungen [5].

Die Ergebnisse zeigen, dass effektive Inklusion auf der koordinierten Integration räumlicher, sozialer und digitaler Lösungen, der aktiven Beteiligung relevanter Akteure, systematischer Planung und der Förderung innovativer Praktiken beruht [4,1]. Die praktische Bedeutung der Studie liegt in der Bereitstellung strukturierter Leitlinien für Bildungseinrichtungen, zivilgesellschaftliche Akteure und staatliche Behörden zur Verbesserung von Inklusivität und Barrierefreiheit. Die wissenschaftliche Neuheit ergibt sich aus einem umfassenden Bewertungsrahmen, der internationale Standards mit nationalen Praktiken in Einklang bringt und fortschrittliche digitale Technologien integriert [2,4].

Schlüsselwörter: Inklusion, inklusives Umfeld, Barrierefreiheit, soziale Innovation, digitale Technologien, Interdisziplinarität, Bildungspraxis.

Einleitung

Eine inklusive Umgebung stellt eine grundlegende Komponente sozialer Integration und nachhaltiger Entwicklung in modernen Gemeinschaften dar [1,2]. Dieses Konzept umfasst nicht nur die physische Infrastruktur von Bildungseinrichtungen, öffentlichen Einrichtungen und Kulturzentren, sondern auch angrenzende Freiräume wie Parks, Spielplätze, Fußgängerzonen und andere öffentliche Bereiche. Inklusivität erstreckt sich gleichermaßen auf digitale Umgebungen und Informationsinfrastrukturen, wodurch umfassende Zugänglichkeit sowohl in physischen als auch in virtuellen Dimensionen gewährleistet wird [5]. Die Schaffung solcher Bedingungen garantiert einen gleichberechtigten Zugang für alle gesellschaftlichen Gruppen – insbesondere für Personen mit eingeschränkter Mobilität und Menschen mit Behinderungen – und fördert deren volle Teilhabe am bürgerlichen, Bildungs- und Kulturleben [3,4].

In zeitgenössischen Kontexten, die durch bewaffnete Konflikte, soziale Krisen und rasante technologische Transformationen geprägt sind, wird die Notwendigkeit eines multidimensionalen Ansatzes zur Inklusion zunehmend entscheidend [4,1]. Die Entwicklung einer inklusiven Umgebung erfordert die Einhaltung regulatorischer und technischer Rahmenbedingungen, einschließlich nationaler Bauvorschriften wie DGN V.2.2-40:2018 „Gebäude und Bauwerke. Zugänglichkeit von Gebäuden und Anlagen für Personen mit eingeschränkter Mobilität“ [6], sowie weiterer nationaler und internationaler Normen, die Barrierefreiheit und hindernisfreie Räume regeln [6]. Diese Instrumente bilden die rechtliche und

technische Grundlage, um sicherzustellen, dass städtische und institutionelle Räume dem gesamten Spektrum gesellschaftlicher Bedürfnisse gerecht werden.

Die wissenschaftliche und praktische Bedeutung dieser Studie liegt in ihrer Fähigkeit, räumliche, soziale und digitale Lösungen in ein einheitliches konzeptionelles Modell inklusiver Entwicklung zu integrieren. Die Schaffung eines inklusiven Umfelds gewährleistet insbesondere:

- universellen Zugang zu Bildungs-, Sozial- und Kulturressourcen und damit volle Teilhabe an gesellschaftlichen Institutionen,
- die Entfaltung individuellen Potenzials durch Förderung von Lernen, Selbstverwirklichung und sozialer Partizipation,
- die Integration internationaler Standards mit lokalen Praktiken, wodurch Stadtplaner, Pädagogen und politische Entscheidungsträger globale Best Practices an kontextuelle Realitäten anpassen können [5,4].

Das Hauptziel der Studie besteht darin, die Schlüsselfaktoren einer wirksamen inklusiven Umgebung zu identifizieren und praxisorientierte Empfehlungen für deren Umsetzung in verschiedenen sozialen, bildungsbezogenen und urbanen Kontexten zu formulieren [1]. Zur Erreichung dieses Ziels wurden folgende Aufgaben definiert:

- Durchführung einer umfassenden Analyse zeitgenössischer Inklusionskonzepte unter Hervorhebung theoretischer Grundlagen und interdisziplinärer Ansätze,
- Bewertung internationaler und nationaler Barrierefreiheitsstandards hinsichtlich rechtlicher Konformität, praktischer Anwendbarkeit und Umsetzbarkeit,
- Identifizierung von Barrieren, denen Personen mit eingeschränkter Mobilität begegnen, einschließlich physischer, sozialer, kultureller und digitaler Hindernisse,
- Untersuchung praxisorientierter Lösungen, die räumliche Planung, architektonisches Design und digitale Plattformen integrieren, um inklusive Teilhabe und gleichberechtigten Zugang zu gewährleisten.

Die systematische Umsetzung dieser Aufgaben wird die Entwicklung inklusiver Ansätze in Politik, Planung und öffentlicher Verwaltung fördern. Entsprechend betont diese Studie die enge Wechselbeziehung zwischen Zugänglichkeit, sozialer Gerechtigkeit und nachhaltiger Entwicklung und versteht Inklusion nicht nur als rechtliche oder ethische Verpflichtung, sondern als strategische Voraussetzung für den Fortschritt moderner Gesellschaften.

Theoretischer Überblick

Begriff und Definition der Inklusion

Inklusion wird als ein multidimensionaler und dynamischer Prozess definiert, der darauf abzielt, Bedingungen zu schaffen, die gleichen Zugang, aktive Teilhabe und sinnvolle Mitwirkung aller gesellschaftlichen Gruppen an sozialen,

bildungsbezogenen, kulturellen und städtebaulichen Entwicklungsprozessen gewährleisten [1,4]. Das Konzept umfasst nicht nur die physische Zugänglichkeit von Gebäuden, Innenräumen und angrenzenden öffentlichen Bereichen, sondern auch die umfassende Integration digitaler, informationeller und kommunikativer Ressourcen, die eine vollständige Teilhabe von Personen mit eingeschränkter Mobilität, Menschen mit Behinderungen, älteren Personen sowie weiteren marginalisierten oder unterrepräsentierten Gruppen ermöglichen [3]. Inklusion bezieht sich somit nicht allein auf die Beseitigung physischer Barrieren, sondern auch auf die Schaffung sozialer Bedingungen, die gegenseitige Unterstützung, Mitwirkung an Entscheidungsprozessen und die Entwicklung interpersoneller Kompetenzen fördern.

Darüber hinaus zielt Inklusion darauf ab, soziale Gerechtigkeit zu stärken, individuelle Entwicklungschancen zu erweitern und soziale Interaktionen zu intensivieren. Sie fördert kohäsive, partizipative und solidarische Gemeinschaften, in denen alle Mitglieder aktiv am öffentlichen Leben, an Bildungsprozessen, kulturellen Aktivitäten und städtebaulichen Initiativen teilhaben können. Dieser Ansatz ermöglicht eine umfassende Bewertung der Bedürfnisse unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen und erleichtert eine wirksamere Planung und Umsetzung inklusiver Entwicklungsstrategien auf lokaler wie auch auf nationaler Ebene.

Quantitative Bewertung der Inklusivität

Der Inklusionsindex (I) ist ein umfassender quantitativer Indikator, der entwickelt wurde, um den Grad der Inklusivität einer gegebenen Umgebung zu bewerten und ihre einzelnen Komponenten zu analysieren. Seine Anwendung ermöglicht es Entscheidungsträgern, Stadtplanern sowie Verantwortlichen in Bildungs- und öffentlichen Einrichtungen, die physische, soziale und digitale Zugänglichkeit objektiv zu beurteilen und den Grad der aktiven Beteiligung verschiedener Bevölkerungsgruppen zu erfassen. Die Integration dieses Indikators in Planungs-, Überwachungs- und Evaluationsprozesse von Politiken ermöglicht die Identifizierung von Schwächen in inklusiven Praktiken, den Vergleich unterschiedlicher Räume und die Bewertung der Wirksamkeit umgesetzter Maßnahmen.

Das Element P – Physische Zugänglichkeit bewertet das Vorhandensein von Rampen, Aufzügen, taktilen Oberflächen, angepassten Eingängen und angrenzenden öffentlichen Bereichen. Hochschulen, deren Gebäude mehrheitlich an die Bedürfnisse mobilitätseingeschränkter Gruppen angepasst sind, erhalten hierbei hohe Bewertungen, während ältere Verwaltungsgebäude häufig erhebliche Barrieren aufweisen. Das Element S – Soziale Integration und Partizipation umfasst die Kommunikationszugänglichkeit, das Vorhandensein von Unterstützungsdiensten sowie die Einbindung der Gemeinschaft in

Entscheidungsprozesse. Kulturelle Zentren, die Gebärdensprachdolmetschung und Programme für ältere Bürger anbieten, erzielen in dieser Komponente höhere Werte. Das Element D – Digitale Zugänglichkeit berücksichtigt die Einhaltung der WCAG-Standards, adaptive Benutzeroberflächen und die Integration unterstützender Technologien. Kommunale Portale, die mit Screenreadern und Sprachassistenzsystemen kompatibel sind, zeigen ein hohes Maß digitaler Inklusion.

Die Anwendung dieses Index schafft eine wissenschaftliche Grundlage für die Planung infrastruktureller, sozialer und digitaler Projekte, gewährleistet Chancengleichheit und ermöglicht vergleichende Analysen. Sie unterstützt die Entwicklung praktischer Handlungsempfehlungen zur Verbesserung von Inklusivität und Nachhaltigkeit in unterschiedlichen Umgebungen (Formel 1):

$$I = w_1P + w_2S + w_3D \quad (1)$$

wobei:

- w_1, w_2, w_3 - Gewichtungskoeffizienten, die die relative Bedeutung der jeweiligen Komponente widerspiegeln;
- P - physische Zugänglichkeit von Gebäuden, Innenräumen und angrenzenden öffentlichen Bereichen;
- S - soziale Integration und Teilhabe an gesellschaftlichen, bildungsbezogenen und kulturellen Aktivitäten;
- D - digitale Zugänglichkeit, einschließlich Online-Plattformen und technischer Werkzeuge für umfassende Partizipation.

Das vorgeschlagene Modell kombiniert normative, praktische und analytische Ansätze und stützt sich auf internationale Rahmenwerke [1], UN- und EU-Richtlinien, WHO-Empfehlungen sowie nationale ukrainische Normen [6], die Anforderungen an barrierefreie Umgebungen und universelles Design definieren. Seine konzeptionelle Grundlage zielt darauf ab, einen integrierten Mechanismus zur Bewertung von Inklusivität zu schaffen, der quantitative und qualitative Indikatoren mit den Prinzipien nachhaltiger Entwicklung, Chancengleichheit und partizipativer Governance verbindet.

Dieser Ansatz ermöglicht vergleichende Analysen zwischen Institutionen und Sektoren – von Bildungseinrichtungen bis hin zu kommunalen Infrastruktursystemen – und identifiziert gleichzeitig vorrangige Modernisierungsbereiche. Die systematische Integration des Inklusionsindex (I) in Strategien der Gemeinschaftsentwicklung, Hochschulplanung und städtische Projekte stärkt nicht nur die Qualitätskontrolle, sondern verbessert auch Ressourceneffizienz, sozialen Zusammenhalt und staatliche Rechenschaftspflicht.

Darüber hinaus besitzt das Modell einen prognostischen Wert: Anhand der erhobenen Daten können strukturelle Ungleichgewichte identifiziert, Risikogruppen bestimmt und langfristige Szenarien zur Verbesserung der Inklusivität simuliert

werden. Für Praktiker – darunter Stadtplaner, Bildungsadministratoren, Architekten und Sozialpolitikexperten – dient dieses analytische Instrument als Grundlage für Managemententscheidungen, Fördermittelbegründungen und die Entwicklung adaptiver oder technologischer Interventionen im Rahmen von „Smart-City“-Konzepten. Damit gewährleistet das Modell eine umfassende Bewertung von Zugänglichkeit und Teilhabe und stärkt zugleich die evidenzbasierte Grundlage für die Umsetzung der nationalen Strategie der Ukraine für inklusive und nachhaltige Entwicklung (Tabelle 1).

Tabelle 1: Schlüsselkomponenten und Beispiele zur Messung der Inklusivität

Komponente	Beschreibung	Beispielhafte Bewertung (0–1)	Datenquelle
P – Physische Zugänglichkeit	Vorhandensein von Rampen, Aufzügen, taktilen Oberflächen, angepassten Eingängen, Parks und Fußgängerzonen	0,8 – Universitäten mit überwiegend angepassten Gebäuden	DBN V.2.2-40:2018
S – Soziale Integration	Kommunikationszugänglichkeit, Unterstützungsdienste, inklusive Programme, Partizipation an Entscheidungsprozessen	0,9 – Kulturzentren mit Gebärdensprachdolmetschung, Programmen für Senioren	Befragungen, internes Monitoring
D – Digitale Zugänglichkeit	Einhaltung der WCAG-Standards, assistive Technologien, mobile Anpassung	1,0 – Stadtportal kompatibel mit Screenreadern	WCAG 2.1, ISO/IEC 40500

Quelle: Eigene Ausarbeitung auf Grundlage von [6, 7].

Erläuterung der Modellkomponenten

1. Gewichtungskoeffizienten (w_1, w_2, w_3).

Die Gewichtungskoeffizienten repräsentieren die relative Bedeutung der einzelnen Komponenten innerhalb spezifischer sozialer, bildungsbezogener oder städtebaulicher Kontexte. Sie ermöglichen die Anpassung des Modells an die Bedürfnisse verschiedener Nutzergruppen. So besitzen in Bildungseinrichtungen w_1 (physische Zugänglichkeit) und w_3 (digitale Zugänglichkeit) ein höheres Gewicht, da barrierefreie Lernräume und E-Learning-Infrastrukturen erforderlich sind. In kulturellen oder urbanen Umgebungen gewinnt hingegen w_2 (soziale Partizipation) an Bedeutung, um Inklusivität in der öffentlichen Kommunikation und im bürgerschaftlichen Engagement sicherzustellen.

Zur Normalisierung gilt, dass die Summe aller Gewichtungen eins ergibt (Gleichung 2):

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (2).$$

2. Physische Zugänglichkeit (P).

Dieser Parameter bewertet architektonische und räumliche Gestaltungslösungen wie Rampen, Aufzüge, Türbreiten, taktile Oberflächen, Beleuchtung und Beschilderung. Die Bewertung erfolgt anhand der Einhaltung der ukrainischen Bauvorschrift DBN V.2.2-40:2018 [6] sowie internationaler ISO/EN-Normen, die Anforderungen an Barrierefreiheit und universelles Design festlegen.

3. Soziale Integration und Partizipation (S).

Diese Komponente misst das Ausmaß der öffentlichen Einbindung und Interaktion zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen. Sie berücksichtigt die Verfügbarkeit von Unterstützungsdiensten, Kommunikationszugänglichkeit, inklusive Programme und die Repräsentation in Entscheidungsprozessen. Soziale Integration dient als Indikator für tatsächliches Engagement, Zugehörigkeit zur Gemeinschaft und gegenseitiges Vertrauen, das über die bloße physische Inklusion hinausgeht.

4. Digitale Zugänglichkeit (D).

Der Parameter D bewertet den Zugang zu digitalen Plattformen und Diensten, die Einhaltung der WCAG 2.1 [7] sowie den Einsatz unterstützender Technologien für Nutzer mit visuellen, auditiven oder motorischen Beeinträchtigungen. Ebenso werden mobile Anpassungsfähigkeit und die Klarheit benutzerfreundlicher Schnittstellen berücksichtigt.

Die Erweiterung der digitalen Inklusion ermöglicht gleichberechtigte Teilhabe an Bildung, Beschäftigung, bürgerschaftlichem Engagement und den Zugang zu Verwaltungsdienstleistungen (Abbildung 1).

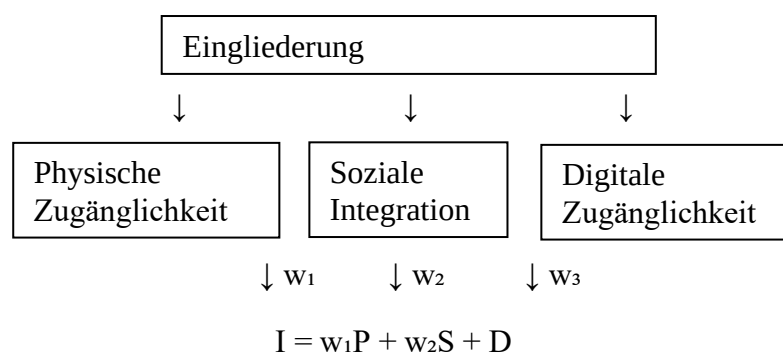


Abbildung 1. Schematische Darstellung des Inklusionsindex-Modells
Quelle: Eigene Ausarbeitung

Praktische Anwendungen:

- **Stadtplanung:** Die Berechnung des Inklusionsindex (I) für öffentliche Räume hilft, Prioritäten für infrastrukturelle Verbesserungen zu identifizieren (Rampen, barrierefreie Verkehrswege, digitale Dienstleistungen).

- **Bildungseinrichtungen:** Universitäten können den Index nutzen, um die Barrierefreiheit des Campus, die Qualität der digitalen Teilhabe und die Chancengleichheit bei der Partizipation zu bewerten.
- **Öffentliche Verwaltung:** Staatliche Behörden können I als Monitoring-Indikator für nationale und internationale Barrierefreiheitsstandards sowie zur Optimierung der Ressourcenzuteilung einsetzen.

Interpretation der Ergebnisse.

Höhere I-Werte weisen auf eine stärker inklusive Umgebung hin, in der physische, soziale und digitale Zugänglichkeit integriert verwirklicht sind. Das Modell ermöglicht Vergleiche zwischen Institutionen, Städten und Regionen, identifiziert Stärken und unterstützt eine evidenzbasierte Planung und Weiterentwicklung.

Dieses Rahmenkonzept bietet letztlich einen strukturierten, messbaren und kontextsensitiven Ansatz zur Bewertung von Inklusion, der sie von einer qualitativen Einschätzung in ein wissenschaftlich fundiertes quantitatives Bewertungssystem überführt.

Inklusive Umwelt und Entwicklungspotenzial: Internationale Standards und Praktiken

Das Prinzip der Inklusion ist in zentralen internationalen Übereinkommen und politischen Rahmenwerken verankert, die eine einheitliche rechtliche und normative Grundlage für gleichberechtigten Zugang und Teilhabe in sozialen, bildungsbezogenen, kulturellen und städtebaulichen Bereichen schaffen.

1. **UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen [3]** garantiert das Recht auf Bildung, Kultur und soziale Dienstleistungen ohne Diskriminierung. Sie verpflichtet die Staaten, universelle Zugänglichkeit zu fördern und physische, soziale sowie informationelle Barrieren zu beseitigen.

Besonderes Gewicht wird der Beteiligung von Menschen mit Behinderungen an Entscheidungsprozessen beigemessen, wodurch Inklusion sowohl als rechtliches als auch als humanitäres Prinzip verankert wird.

2. UNESCO-Initiative „Bildung für alle“ [1] fördert die Entwicklung inklusiver Lehrpläne, die Ausbildung von Lehrkräften, adaptive Lernumgebungen und unterstützende politische Maßnahmen, die jedem Lernenden die Entfaltung seines Potenzials ermöglichen.

Inklusive Pädagogik stärkt sowohl die akademische Leistung als auch die soziale Integration und wirkt Ungleichheiten entgegen, die aus physischen, kognitiven oder sozioökonomischen Einschränkungen resultieren.

3. Leitlinien der Europäischen Kommission für inklusive Bildung und barrierefreie öffentliche Räume [5] bieten einen methodischen Rahmen für den Aufbau

inklusive Bildungssysteme und städtischer Umgebungen durch die Integration architektonischer, sozialer und digitaler Zugänglichkeit.

Sie führen auch Überwachungsmechanismen ein, um die Einhaltung der Standards zu bewerten und die Wirksamkeit von Inklusionsstrategien zu überprüfen.

Auswirkungen auf Politik und Praxis:

Internationale Standards steuern nationale Gesetzgebung und institutionelle Strategien, indem sie physische, soziale und digitale Dimensionen der Zugänglichkeit integrieren. Ihre Umsetzung unterstützt evidenzbasierte politische Entscheidungsfindung, stärkt Rechenschaftspflicht und harmonisiert inklusive Ansätze über Länder- und Sektorgrenzen hinweg.

Die Einhaltung dieser Normen ermöglicht es Regierungen, Bildungseinrichtungen und Stadtplanern, Umgebungen zu schaffen, die sowohl rechtlichen Verpflichtungen entsprechen als auch soziale Gerechtigkeit, Partizipation und nachhaltige Entwicklung fördern.

Barrieren und Herausforderungen inklusiver Umgebungen

Trotz der wachsenden Anerkennung der Bedeutung von Inklusion bestehen weiterhin zahlreiche Hindernisse, die die volle Teilhabe unterschiedlicher sozialer Gruppen in Bildungs-, Kultur-, Sozial- und Stadtentwicklungskontexten einschränken. Diese Hindernisse lassen sich in vier miteinander verknüpfte Dimensionen einteilen: physisch, sozial, digital und kulturell.

Physische Barrieren umfassen die mangelnde Zugänglichkeit von Gebäuden, öffentlichen Räumen und internen Einrichtungen, etwa das Fehlen von Rampen, Aufzügen, taktilen Markierungen oder ausreichend breiten Türöffnungen. Diese Einschränkungen beeinträchtigen die Mobilität von Menschen mit Behinderungen und älteren Personen und wirken sich indirekt auf deren soziale Teilhabe aus.

Soziale Barrieren entstehen durch anhaltende Stereotype, begrenztes Bewusstsein und unzureichende Unterstützung durch die Gemeinschaft. Sie führen zu Ausschluss aus Entscheidungsprozessen sowie zu eingeschränktem Zugang zu Mentoring-Strukturen und sozialen Netzwerken.

Digitale Barrieren beziehen sich auf unzureichend gestaltete Online-Plattformen, das Fehlen assistiver Technologien und nicht-adaptive digitale Werkzeuge, die Bildungs-, berufliche und gesellschaftliche Partizipation behindern.

Kulturelle Barrieren treten auf, wenn Programme oder Dienstleistungen ethnische, sprachliche, altersbezogene oder kulturelle Diversität nicht ausreichend berücksichtigen. Dies führt zu ungleichem Zugang und verringerter Beteiligung.

Integrierter Ansatz:

Die Überwindung dieser Barrieren erfordert eine multidimensionale Strategie, die regulatorische Rahmenbedingungen, infrastrukturelle Verbesserungen, soziale

Aufklärung und technologische Innovation miteinander verbindet. Evidenzbasierte Standards und internationale Best-Practice-Modelle bilden die methodische Grundlage für eine systematische Beseitigung von Barrieren.

Umfassende Interventionen stärken den sozialen Zusammenhalt, erweitern Teilhabechancen für alle Bürgerinnen und Bürger und fördern nachhaltige Entwicklung – sie transformieren Inklusion von einem normativen Prinzip in eine konkrete gesellschaftliche Praxis.

Methodologie zur Bewertung inklusiver Umgebungen

Diese Studie wendet einen interdisziplinären Ansatz an, der Soziologie, Pädagogik, Stadtforschung und digitale Methodologien integriert [1, 4]. Der konzeptionelle Rahmen ermöglicht eine umfassende Bewertung physischer Zugänglichkeit, sozialer Teilhabe, digitaler Inklusion sowie des Entwicklungspotenzials der Nutzerinnen und Nutzer [5, 2]. Dadurch wird das Zusammenspiel struktureller, sozialer und technologischer Faktoren präzise erfasst.

Die Bewertung der Inklusivität basiert auf drei Kerndimensionen, die den Inklusionsindex (I) bilden:

1. ***Physische Zugänglichkeit (P)***: Gebäude, Innenräume, angrenzende öffentliche Flächen und Fußgängerzonen; zentrale Merkmale sind Rampen, Aufzüge, Beschilderungen und barrierefreie Eingänge [6].
2. ***Soziale Teilhabe (S)***: Einbindung von Personen mit eingeschränkter Mobilität in Bildungs-, Kultur- und Gemeinschaftsaktivitäten, gemessen anhand von Partizipationsgrad und Nutzerzufriedenheit [4].
3. ***Digitale Zugänglichkeit (D)***: Zugang zu digitalen Plattformen, Online-Diensten und Informationsressourcen; bewertet anhand von Benutzerfreundlichkeit, Kompatibilität mit assistiven Technologien und Verfügbarkeit von Orientierungshilfen [5].

Datenerhebungsmethoden umfassten Experten- und Nutzerbefragungen, räumliche Audits (vor Ort und digital) sowie vergleichende Fallstudien lokaler und internationaler Praktiken [5, 4].

Bewertungskriterien beinhalteten physische Zugänglichkeit, soziale Integration, digitale Inklusion und Innovations- bzw. Entwicklungspotenzial.

Dieser methodologische Rahmen bietet eine prägnante, multidimensionale Bewertung der Inklusivität und stellt praxisorientierte Leitlinien für Stadtplaner, politische Entscheidungsträger, Pädagoginnen und Pädagogen sowie Gemeinschaftsakteure bereit.

Praktische Ergebnisse

Zur Bewertung der Inklusivität baulicher und sozialer Umgebungen wurde eine Felduntersuchung in repräsentativen Institutionen der Ukraine durchgeführt – darunter Bildungseinrichtungen, Krankenhäuser, Verwaltungsgebäude sowie

angrenzende öffentliche Räume. Die Forschung kombinierte quantitative Beobachtungen, räumliche Zugänglichkeitskartierung und qualitative Nutzerbefragungen, wodurch sowohl die physische als auch die wahrgenommene Zugänglichkeit umfassend bewertet werden konnte.

Im Mittelpunkt der Untersuchung standen Personen mit eingeschränkter Mobilität – Menschen mit Behinderungen, ältere Bürgerinnen und Bürger sowie Personen mit temporären körperlichen Einschränkungen – als zentrale Indikatoren für den Grad der Inklusivität im städtischen und institutionellen Design.

Darüber hinaus wurden digitale und informationelle Zugänglichkeit untersucht, um die Fähigkeit der Institutionen zu bewerten, hybride Formen sozialer Teilhabe zu unterstützen – ein besonders relevanter Aspekt im Kontext von Nachkrisen- und Wiederaufbauprozessen.

Physische Zugänglichkeit

Die Evaluation zeigte, dass die Mehrheit der untersuchten Gebäude und ihrer Umgebungen nur teilweise den nationalen Barrierefreiheitsstandards (DBN) [6] entspricht. Dies weist auf eine anhaltende Diskrepanz zwischen formaler Regulierung und praktischer Umsetzung hin.

Die gravierendsten Mängel lassen sich in vier miteinander verknüpfte Dimensionen unterteilen:

1. Eingänge und Anpassung der Innenräume
 - In vielen Fällen fehlen Rampen oder sind in falschem Gefälle gebaut, was sie für Rollstuhlnutzer unsicher macht.
 - Enge Korridore und Türöffnungen in älteren Gebäuden schränken Bewegung und Evakuierungskapazität ein, wodurch die funktionale Inklusivität reduziert wird.
2. Eingeschränkter Zugang zu wesentlicher Infrastruktur und Versorgungseinrichtungen
 - Barrierefreie Toiletten sind hauptsächlich in Neubauten vorhanden; Orientierungsschilder und taktile Markierungen sind selten.
3. Unzugänglichkeit angrenzender Bereiche und öffentlicher Gemeinschaftsflächen
 - Unebene Gehwege und eingeschränkter Zugang für Fahrzeuge erschweren sichere und selbstständige Mobilität.
 - Fehlende Handläufe und Schutzvorrichtungen erhöhen das Verletzungsrisiko und erschweren den sicheren Zugang zu Gebäuden.
 - Schlecht gestaltete öffentliche Räume tragen zu sozialer Isolation und reduzierter Gemeinschaftsteilnahme von mobilitätseingeschränkten Personen bei.
4. Auswirkungen physischer Barrieren auf soziale Integration und Inklusion

- Mängel in der physischen Zugänglichkeit wirken sich direkt auf Bildungs-, Kultur- und Sozialpartizipation aus, verringern Unabhängigkeit und Engagement in der Gemeinschaft.
- Physische Hindernisse gehen häufig mit psychologischen Barrieren einher, wie Angst vor Verletzungen oder erwartete Schwierigkeiten, die aktive Teilnahme hemmen.

Die integrierte Analyse unterstreicht den dringenden Bedarf einer systematischen Modernisierung der gebauten Umwelt. Solche Maßnahmen sind entscheidend für die Schaffung einer widerstandsfähigen und inklusiven Infrastruktur, die Komfort, Sicherheit und aktive Teilhabe mobilitätseingeschränkter Gruppen am sozialen und wirtschaftlichen Leben gewährleistet (Tabelle 2).

Tabelle 2. Physische Zugänglichkeit von Institutionen und deren Umfeld

Art der Institution	Zielgruppe	DBN-Konformität	Identifizierte Barrieren	Datenquelle
Schule	Schülerinnen und Schüler mit Behinderungen	Teilweise	Fehlende Rampen am Haupteingang; enge Korridore	Feldforschung
Krankenhaus	Ältere Menschen, Personen mit eingeschränkter Mobilität	Teilweise	Begrenzte Anzahl an Aufzügen; unzugängliche Toiletten	Feldforschung
Regierungsbüro	Allgemeine Öffentlichkeit, Rollstuhlnutzer	Gering	Unebene Gehwege; unzureichende Beschilderung	Feldforschung
Kulturzentrum	Alle Nutzer	Teilweise	Steile Rampen; begrenzte Sitzmöglichkeiten für ältere Besucher	Feldforschung

Quelle: Eigene Ausarbeitung

Diese Ergebnisse liefern empirische Evidenz für politische Empfehlungen zur Verbesserung der urbanen Inklusivität.

Die wissenschaftliche Neuheit der Studie liegt in der Integration von physischen Audits, Analyse der Nutzerwahrnehmung und normativer Bewertung innerhalb eines einheitlichen Bewertungsrahmens.

Ein solcher interdisziplinärer Ansatz trägt zur Entwicklung datenbasierter Strategien der Stadtplanung bei und steht im Einklang mit den Prinzipien der UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen sowie den Sustainable Development Goals (SDGs), insbesondere Ziel 11 — Nachhaltige Städte und Gemeinden.

Soziale Partizipation und Integration

Menschen mit eingeschränkter Mobilität sind nach wie vor in sozialen, bildungsbezogenen und kulturellen Bereichen deutlich unterrepräsentiert, was auf

die anhaltende Wirkung physischer, psychologischer und organisatorischer Barrieren zurückzuführen ist. Die begrenzte Zugänglichkeit urbaner Infrastrukturen — einschließlich fehlender Rampen, Aufzüge und angepasster Verkehrsmittel sowie unebener Oberflächen und enger Durchgänge — schränkt Mobilität und Partizipation weiterhin ein. Psychologische Faktoren, wie die Angst vor Verletzungen, wahrgenommene Abhängigkeit und tief verwurzelte gesellschaftliche Stereotype, verstärken das Gefühl der Ausgrenzung. Institutionelle und organisatorische Defizite, darunter fragmentierte Koordination zwischen Behörden, unzureichende Unterstützungsmechanismen und das Fehlen umfassender Informationssysteme, verschärfen die soziale Isolation und behindern die vollständige Integration von Menschen mit Behinderungen in das Gemeinschaftsleben.

Die Überwindung dieser multidimensionalen Barrieren erfordert einen systemischen und interdisziplinären Ansatz, der technologische Innovation mit sozialer und psychologischer Unterstützung kombiniert. Die Implementierung assistiver Technologien, wie intelligente Mobilitätsgeräte, adaptive Infrastrukturen und digitale Barrierefreiheitsplattformen, spielt eine zentrale Rolle bei der Wiederherstellung von Unabhängigkeit und Teilhabe. Gleich wichtig sind Rehabilitations- und Sozialintegrationsprogramme, die darauf abzielen, Selbstwirksamkeit, psychische Resilienz und Beschäftigungsmöglichkeiten für Menschen mit Behinderungen zu fördern. In diesem Kontext wird die Zusammenarbeit zwischen öffentlichen Behörden, Zivilgesellschaft und internationalen Partnern zu einem entscheidenden Faktor beim Aufbau inklusiver Umgebungen und nachhaltiger Rehabilitationsnetzwerke.

Methodische Grundlage: Die Erkenntnisse basieren auf Feldbeobachtungen, strukturierten Befragungen und Barrierefreiheitsaudits in ukrainischen Bildungs-, Gesundheits- und Verwaltungseinrichtungen. Der Mixed-Methods-Ansatz ermöglichte die Bewertung quantitativer Indikatoren der Zugänglichkeit sowie qualitativer Dimensionen sozialer Erfahrung und deckte systemische Defizite auf, die die Teilhabe beeinträchtigen.

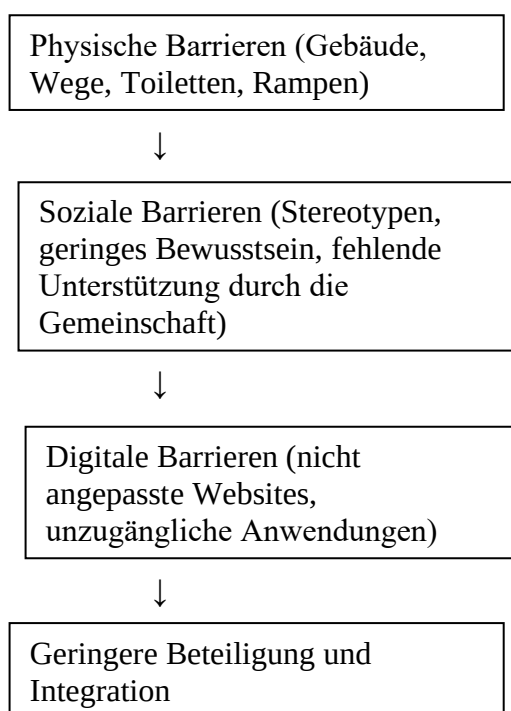
Folgen: Diese miteinander verbundenen Barrieren erzeugen einen kumulativen Effekt — sie reduzieren die Bildungs- und Kulturbeteiligung, begrenzen Beschäftigungsmöglichkeiten und beeinträchtigen verfassungsrechtliche sowie menschenrechtliche Ansprüche auf gleichberechtigten Zugang. Langfristige Ausgrenzung führt zu verringerten sozialen Interaktionen, eingeschränkter Selbstwirksamkeit und schwächerer bürgerschaftlicher Identität bei Menschen mit Mobilitätseinschränkungen, wodurch die Resilienz und Inklusivität der Gemeinschaft geschwächt wird.

Innovative Empfehlungen:

- Aufbau umfassender Unterstützungsnetzwerke (Assistentinnen, Freiwillige, Sozialarbeiterinnen), geschult in inklusiven Praktiken, um Teilnehmende zu begleiten und sichere Teilhabe am öffentlichen Leben zu ermöglichen.
- Kooperation von Behörden, NGOs und Gemeinschaftsorganisationen zur Koordination barrierefreier Bildungs- und Kulturinitiativen.
- Verbesserung der Informationszugänglichkeit durch adaptive Kommunikationssysteme, barrierefreie Webressourcen, taktile Navigation und mehrsprachige Materialien, die assistive Technologien unterstützen.
- Durchführung kontinuierlicher Öffentlichkeits- und Bildungskampagnen zur Förderung einer inklusiven Kultur, Reduktion von Stigmatisierung und Normalisierung der Teilhabe von Menschen mit Behinderungen.

Dieses Konzept adressiert nicht nur physische und informationelle Barrieren, sondern etabliert auch ein Modell sozialer Inklusion, das den Prinzipien der UN-Behindertenrechtskonvention (CRPD), europäischen Barrierefreiheitsstandards und den Zielen für nachhaltige Entwicklung (SDG 10 und SDG 11) entspricht.

Es unterstreicht, dass Barrierefreiheit nicht nur technisch oder architektonisch ist, sondern ein gesellschaftlicher Prozess, der interdisziplinäre Koordination und evidenzbasierte Umsetzung erfordert (Abbildung 2).



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 2. Interaktion physischer, sozialer und digitaler Barrieren, die Partizipation mindern

Hinweis: Das Diagramm zeigt, wie multiple Barrieren zusammenspielen, um die Gesamteilhabe einzuschränken. Das Modell entspricht internationalen

Richtlinien und nationalen Barrierefreiheitsstandards und betont die Notwendigkeit gleichzeitiger, umfassender Interventionen.

Digitale Barrierefreiheit und innovative Lösungen

Die digitale Barrierefreiheit in der Ukraine ist nach wie vor fragmentiert und entspricht nicht den aktuellen internationalen Standards. Ein erheblicher Anteil der staatlichen und privatwirtschaftlichen Websites sowie mobiler Anwendungen ist nicht angemessen für Menschen mit Behinderungen angepasst, insbesondere für ältere Personen sowie Menschen mit sensorischen oder kognitiven Einschränkungen. Derzeit werden interaktive Karten, Sprachnavigationssysteme, adaptive Benutzeroberflächen und Text-to-Speech-Module nur in wenigen größeren Städten implementiert, meist als isolierte lokale Initiativen. Das Fehlen eines einheitlichen nationalen Rahmens für digitale Inklusion hemmt die Bildung eines integrierten, nutzerzentrierten Ökosystems von E-Diensten, das allen Bürgern zugänglich ist, unabhängig von ihren physischen oder kognitiven Fähigkeiten.

Um diese Disparitäten zu überwinden, ist die Etablierung eines systematischen Monitoring-Rahmens für digitale Inklusivität unerlässlich, der technische, soziale und organisatorische Indikatoren integriert. Ein solcher Ansatz ermöglicht sowohl die quantitative Bewertung des Zugänglichkeitsniveaus als auch die Effizienzbewertung der Politikumsetzung auf lokaler und nationaler Ebene und bietet eine fundierte Grundlage für Entscheidungen und Priorisierung von Investitionen in inklusive Technologien.

Für die systemische Bewertung der digitalen Barrierefreiheit wird eine quantitative Methode angewendet, die die Bestimmung von prioritären Bereichen für die Einführung adaptiver Technologien ermöglicht, die auf unterschiedliche Nutzergruppen zugeschnitten sind (Formel 3):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n a_i v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (3)$$

Legende:

- a_i - Verfügbarkeit eines bestimmten digitalen Dienstes (1 = verfügbar, 0 = nicht verfügbar);
- v_i - Gewichtung oder Bedeutung des Dienstes für eine bestimmte Nutzergruppe;
- n - Anzahl der bewerteten Dienste;
- D - Gesamtindikator der digitalen Barrierefreiheit.

Formel 3. Systematische Bewertung der digitalen Barrierefreiheit

Diese Methode misst nicht nur das Vorhandensein grundlegender Barrierefreiheitsfunktionen, sondern definiert auch die relative Bedeutung jedes Dienstes für sozial integrierte Teilhabe. Beispielsweise sind Screenreader-Kompatibilität und Sprachnavigation für Menschen mit Sehbehinderungen entscheidend, während adaptive Schnittstellen und interaktive Karten mit minimaler

Touchscreen-Interaktion für Personen mit Mobilitätseinschränkungen Priorität haben.

In der Ukraine wird digitale Barrierefreiheit durch die staatlichen Bauvorschriften (DBN) [6] geregelt, die technische Anforderungen für barrierefreie Infrastruktur und digitale Dienste für Menschen mit Behinderungen festlegen. Auf internationaler Ebene sind ähnliche Prinzipien in den Leitlinien der Europäischen Kommission zur digitalen Inklusion verankert [5]. Trotz dieses regulatorischen Rahmens bleibt die Umsetzung innovativer Barrierefreiheitslösungen aufgrund systemischer Fragmentierung, unzureichender Finanzierung und fehlender Fachkräfte im adaptiven Design begrenzt.

Eine umfassende Strategie erfordert die Integration von:

1. Entwicklung einheitlicher, barrierefreier digitaler Plattformen;
2. Monitoring und Evaluierung auf Basis quantitativer Indikatoren;
3. Schulung von Fachkräften in digitaler Inklusion und UX-Design für Menschen mit Behinderungen;
4. sektorenübergreifender Zusammenarbeit zwischen staatlichen, zivilgesellschaftlichen und privaten Akteuren.

Ein solcher integrierter Ansatz gewährleistet nicht nur das verfassungsmäßige Recht auf Informationszugang und Teilhabe am öffentlichen Leben, sondern fördert auch soziale Inklusion, Effizienz öffentlicher Dienste und das Wachstum eines innovativen Ökosystems im gesamten Land.

Diskussion

Analyse der Wirksamkeit inklusiver Lösungen

Empirische Befunde zeigen, dass physische, soziale und digitale Inklusionsmaßnahmen in der Ukraine fragmentiert und unsystematisch umgesetzt werden. Trotz bestehender gesetzlicher Rahmenbedingungen und technischer Standards [5] sowie der Umsetzung der UN-Behindertenrechtskonvention [3] bleibt die praktische Implementierung über Regionen und Institutionstypen hinweg inkonsistent.

Physische Maßnahmen – darunter Rampen, verbreiterte Türöffnungen und barrierefreie Sanitäranlagen – werden vorwiegend in Neubauten oder im Rahmen internationaler technischer Kooperationsprojekte realisiert. Der Großteil der bestehenden Einrichtungen bleibt jedoch für Menschen mit eingeschränkter Mobilität unzugänglich.

Soziale Initiativen, die auf Personen mit Mobilitätseinschränkungen ausgerichtet sind, beschränken sich größtenteils auf kurzfristige lokale Projekte und zivilgesellschaftliche Aktivitäten, denen es häufig an nachhaltiger institutioneller Unterstützung mangelt. Digitale Barrierefreiheitslösungen – wie adaptive Websites, mobile Anwendungen und Sprachassistenzsysteme – konzentrieren sich

überwiegend auf große Städte und sind nicht systematisch in regionale oder ländliche Infrastrukturen integriert.

Folglich bleibt die Gesamteffektivität der Inklusionsmaßnahmen gering, was sich im zusammengesetzten Inklusionsindex widerspiegelt ($I < 0,5$), der für die Mehrheit der untersuchten Institutionen berechnet wurde.

Determinanten erfolgreicher Inklusionsintegration

Die Analyse nationaler Praktiken und internationaler Erfahrungen verdeutlicht mehrere zentrale Determinanten für eine erfolgreiche Inklusionsintegration:

1. Ganzheitlicher und multidimensionaler Ansatz.

Die wirksamsten Inklusionssysteme verbinden bauliche Verbesserungen, soziale Unterstützungsmechanismen und digitale Barrierefreiheitslösungen innerhalb eines integrierten Rahmens [5].

2. Kapazitätsaufbau und berufliche Weiterbildung.

Fachkräfte in Bildung, Gesundheitswesen und Verwaltung müssen über Kompetenzen in inklusiver Kommunikation, Barrierefreiheitsmanagement und assistiven Technologien verfügen. Regelmäßige Schulungen sichern die Nachhaltigkeit inklusiver Praktiken.

3. Partizipation der Gemeinschaft und Einbindung relevanter Akteure.

Die Beteiligung von Freiwilligen, lokalen NGOs, Sozialpartnern und Endnutzerinnen und -nutzern an Planung, Umsetzung und Monitoring inklusiver Projekte stärkt sowohl die soziale Legitimität als auch die praktische Relevanz.

4. Normative und rechtliche Unterstützung.

Die Einhaltung nationaler Bauvorschriften und lokaler Barrierefreiheitsstandards muss in allen Phasen von Planung, Sanierung und öffentlicher Beschaffung verpflichtend sein. Die Integration dieser Standards in kommunale Regelwerke erhöht die langfristige Wirksamkeit und Verantwortlichkeit erheblich.

Herausforderungen bei der Skalierung und Verstetigung inklusiver Praktiken

Trotz einer wachsenden Zahl von Pilotprojekten bestehen bei der systematischen Ausweitung von Inklusionsinitiativen anhaltende Herausforderungen:

- Finanzielle Einschränkungen.

Die Anpassung älterer Gebäude, die Aufwertung öffentlicher Räume und die Umsetzung digitaler Barrierefreiheit erfordern erhebliche Investitionen.

- Fragmentierung der Initiativen.

Viele Inklusionsprojekte sind isoliert und kurzfristig angelegt, ohne Kontinuität oder Einbindung in umfassendere städtische oder nationale Entwicklungsprogramme.

- Institutionelle und administrative Lücken.

Eine unzureichende Koordination zwischen staatlichen Behörden, lokalen Verwaltungen und zivilgesellschaftlichen Organisationen mindert die politische Kohärenz.

- Kulturelle und soziale Barrieren.

Fortbestehende Stereotype und ein begrenztes Verständnis der Bedürfnisse von Menschen mit Behinderungen behindern die Schaffung wirklich inklusiver Umgebungen.

Die Rolle von öffentlich-privaten und zivilgesellschaftlichen Partnerschaften

Eine effektive Inklusion erfordert eine strukturierte Zusammenarbeit zwischen staatlichen Institutionen, lokalen Gemeinschaften und zivilgesellschaftlichen Organisationen:

- Der Staat regelt, finanziert und legt Barrierefreiheitsstandards fest.
- Zivilgesellschaftliche Organisationen fungieren als Umsetzende und Vermittler, die sich für Advocacy und Unterstützung einsetzen.
- Lokale Behörden koordinieren die Anwendung der Standards in Einrichtungen, Räumen und digitalen Diensten.

Ein Tri-Sektor-Partnerschaftsmodell bildet die Grundlage einer nachhaltigen Inklusionspolitik und ermöglicht den Übergang von isolierten Interventionen zu einer systemischen Umsetzung, die auf soziale Gerechtigkeit, Barrierefreiheit und Chancengleichheit ausgerichtet ist.

Schlussfolgerungen und praktische Empfehlungen

Allgemeine Schlussfolgerungen

Die Studie zeigt, dass der Stand des inklusiven Umfelds in der Ukraine weiterhin unterentwickelt ist. Bestehende internationale und nationale Standards bieten eine normative Basis, ihre praktische Umsetzung ist jedoch fragmentiert und inkonsistent.

Zentrale Ergebnisse:

1. Die physische Barrierefreiheit ist in älteren Gebäuden und öffentlichen Räumen durch fehlende Rampen, enge Türen und unebene Oberflächen eingeschränkt.
2. Soziale Integration wird durch begrenzte Information, geringe Beteiligung der Gemeinschaft und unzureichende Unterstützungsangebote gehemmt.
3. Digitale Barrierefreiheit ist insbesondere in regionalen Gebieten ungleich verteilt, was den Zugang zu Informationen und Dienstleistungen einschränkt.
4. Innovative Praktiken sind lokalisiert und verfügen über keine Mechanismen zur Skalierung.
5. Öffentlich-zivilgesellschaftliche Partnerschaften sind entscheidend für systemische Inklusion und gerechten Zugang.

Praktische Empfehlungen:

- **Ganzheitlicher Ansatz:** Physische, soziale und digitale Maßnahmen in einer einheitlichen Strategie integrieren.
- **Kapazitätsaufbau und Schulungen:** Personal in Bildungs-, Gesundheits- und Sozialeinrichtungen in inklusiven Praktiken qualifizieren.
- **Digitale Inklusion:** Nationale Standards implementieren, adaptive Schnittstellen, Sprachführungen und interaktive Werkzeuge einsetzen.
- **Finanzierung und Infrastrukturmodernisierung:** Staatliche und lokale Programme priorisieren, gezielte Fördermittel für Barrierefreiheitsprojekte bereitstellen.
- **Koordination und Partnerschaften:** Intersektorale Zusammenarbeit zwischen Regierung, Zivilgesellschaft und lokalen Gemeinschaften zur Überwachung und Sicherstellung der Standardkonformität.

Inklusivität ist ein umfassender sozio-rechtlicher Prozess, der Koordination, regulatorische Aufsicht und aktive bürgerschaftliche Beteiligung erfordert und in Stadtplanung, Bildung und digitale Governance integriert werden muss.

Literaturverzeichnis

1. UNESCO. (2020). Global Education Monitoring Report 2020: Inclusion and Education – All Means All. Paris, Frankreich: UNESCO Publishing.
2. Ainscow, M., & Booth, T. (2019). The Index for Inclusion: Developing Learning and Participation in Schools. Bristol, Großbritannien: Centre for Studies on Inclusive Education (CSIE).
3. Vereinte Nationen. (2006). Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen (CRPD). New York, NY, USA: Vereinte Nationen.
4. Florian, L. (2020). On the necessary co-existence of inclusive education and special education. International Journal of Inclusive Education, 24(1), 1–16.
5. Europäische Kommission. (2021). Union of Equality: Strategy for the Rights of Persons with Disabilities 2021–2030. Brüssel, Belgien: Europäische Kommission.
6. DBN V.2.2-40:2018. (2018). Gebäude und Bauwerke. Barrierefreiheit von Gebäuden und Einrichtungen für Menschen mit eingeschränkter Mobilität. Kiew, Ukraine: Ministerium für regionale Entwicklung, Bauwesen sowie Wohnungs- und Kommunaldienste der Ukraine.
7. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. (2018). World Wide Web Consortium (W3C).

[PT_4]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Ambiente inclusivo e potencial de desenvolvimento

Resumo

O desenvolvimento e o avanço de um ambiente inclusivo constituem dimensões fundamentais do progresso social, educacional e urbano contemporâneo [1,2]. Garantir acesso equitativo a recursos educacionais, sociais, culturais e digitais para indivíduos com diferentes habilidades e faixas etárias aumenta significativamente a coesão social, apoia o desenvolvimento pessoal e fortalece a resiliência institucional [3,4]. No contexto de crises globais, conflitos armados e rápidas transformações tecnológicas, o estabelecimento de mecanismos eficazes e sustentáveis de inclusão torna-se cada vez mais imperativo [5].

Este estudo destaca os determinantes-chave de ambientes inclusivos eficazes e propõe recomendações práticas e baseadas em evidências para implementação em contextos sociais, educacionais e urbanos [1,4]. Os objetivos da pesquisa incluem: análise abrangente dos atuais quadros teóricos da inclusão [2], avaliação de normas internacionais e boas práticas [5], identificação de barreiras estruturais e operacionais [3] e desenvolvimento de soluções práticas utilizando plataformas digitais e ferramentas espacialmente informadas [4].

O referencial metodológico adota uma abordagem interdisciplinar, combinando métodos sociológicos, educacionais, urbanísticos e digitais [1,2]. A coleta de dados envolveu pesquisas com especialistas, avaliações de acessibilidade física e digital e

aplicação de critérios avaliativos para determinar a eficácia dos ambientes inclusivos [5].

Os resultados demonstram que a inclusão eficaz depende da integração coordenada de soluções espaciais, sociais e digitais, do engajamento ativo das partes interessadas, do planejamento sistemático e da promoção de práticas inovadoras [4,1]. A relevância prática do estudo reside na oferta de diretrizes estruturadas para instituições educacionais, atores da sociedade civil e autoridades governamentais, visando aprimorar a inclusividade e a acessibilidade. A novidade científica decorre de um referencial avaliativo abrangente que alinha padrões internacionais com práticas nacionais, integrando tecnologias digitais avançadas [2,4].

Palavras-chave: inclusão, ambiente inclusivo, acessibilidade, inovação social, tecnologias digitais, interdisciplinaridade, práticas educacionais.

Introdução

Um ambiente inclusivo representa um componente fundamental para a integração social e o desenvolvimento sustentável nas comunidades contemporâneas [1,2]. Este conceito abrange não apenas a infraestrutura física de instituições educacionais, instalações públicas e centros culturais, mas também os espaços abertos adjacentes, incluindo parques, áreas de recreação, zonas de pedestres e outras áreas de uso público. A inclusividade estende-se igualmente aos ambientes digitais e à infraestrutura de informação, assegurando acessibilidade abrangente tanto nas dimensões físicas quanto virtuais [5]. Estabelecer tais condições garante acesso equitativo a todos os grupos sociais, particularmente a pessoas com mobilidade reduzida e indivíduos com deficiência, promovendo assim sua plena participação na vida cívica, educacional e cultural [3,4].

Em contextos contemporâneos de conflitos armados, crises sociais e rápidas transformações tecnológicas, a necessidade de uma abordagem multidimensional da inclusão torna-se cada vez mais crítica [4,1]. O desenvolvimento de um ambiente inclusivo exige conformidade com marcos regulatórios e técnicos, como o DBN V.2.2-40:2018 “Edifícios e Construções. Acessibilidade de Edifícios e Estruturas para Pessoas com Mobilidade Reduzida” [6], além de outras normas nacionais e internacionais que regem acessibilidade e espaços livres de barreiras [6]. Esses instrumentos fornecem a base legal e técnica necessária para assegurar que espaços urbanos e institucionais atendam ao espectro completo das necessidades sociais.

A relevância científica e prática deste estudo reside em sua capacidade de integrar soluções espaciais, sociais e digitais em um modelo conceitual unificado de desenvolvimento inclusivo. A criação de um ambiente inclusivo assegura:

- Acesso universal a recursos educacionais, sociais e culturais, permitindo engajamento pleno com as instituições sociais.

- Desenvolvimento do potencial pessoal, apoiando a aprendizagem, a autorrealização e a participação social.
- Integração de padrões internacionais com práticas locais, permitindo que planejadores urbanos, educadores e formuladores de políticas harmonizem as melhores práticas globais com as realidades contextuais [5,4].

O estudo visa identificar os determinantes-chave de um ambiente inclusivo eficaz e propor recomendações práticas para implementação em diferentes contextos sociais, educacionais e urbanos [1]. Para isso, foram definidas as seguintes tarefas:

- Conduzir uma análise abrangente dos conceitos contemporâneos de inclusão, destacando fundamentos teóricos e abordagens interdisciplinares.
- Avaliar normas internacionais e nacionais de acessibilidade em relação à conformidade legal, aplicabilidade prática e viabilidade.
- Identificar barreiras enfrentadas por pessoas com mobilidade reduzida, incluindo obstáculos físicos, sociais, culturais e digitais.
- Examinar soluções que integrem planejamento espacial, design arquitetônico e plataformas digitais para garantir participação inclusiva e acesso equitativo.

A execução dessas tarefas promoverá o desenvolvimento de abordagens inclusivas em políticas, design e administração pública. Este estudo enfatiza a interconexão entre acessibilidade, equidade social e desenvolvimento sustentável, apresentando a inclusão não apenas como obrigação legal ou ética, mas como pré-requisito estratégico para o avanço da sociedade contemporânea.

Revisão Teórica

Conceito e Definição de Inclusão

A inclusão é definida como um processo multidimensional e dinâmico voltado à criação de condições que assegurem acesso igualitário, participação ativa e engajamento de todos os grupos sociais nos processos de desenvolvimento social, educacional, cultural e urbano [1,4]. O conceito envolve não apenas a acessibilidade física de edifícios, espaços internos e áreas públicas, mas também a integração de recursos digitais, informacionais e de comunicação, permitindo a plena participação de pessoas com mobilidade reduzida, deficiência, idosos e outros grupos sub-representados [3]. A inclusão trata não apenas da remoção de barreiras físicas, mas também da criação de condições sociais que promovam apoio mútuo, participação em decisões e desenvolvimento de competências interpessoais.

Além disso, a inclusão visa fortalecer a justiça social, ampliar oportunidades de desenvolvimento pessoal e intensificar a interação social. Promove comunidades coesas, participativas e solidárias, nas quais todos podem engajar-se ativamente na vida cívica, nos processos educacionais, em atividades culturais e em iniciativas urbanas. Essa abordagem permite uma avaliação abrangente das necessidades de

diferentes grupos e facilita um planejamento e implementação mais eficazes de estratégias de desenvolvimento inclusivo em níveis local e nacional.

Avaliação Quantitativa da Inclusividade

O índice de inclusividade (I) é um indicador quantitativo projetado para avaliar o nível de inclusividade de um ambiente e seus componentes. Permite que partes interessadas, formuladores de políticas, planejadores urbanos e administradores de instituições educacionais e públicas avaliem objetivamente a acessibilidade física, social e digital, bem como o grau de participação de diferentes grupos populacionais. Sua integração nos processos de planejamento, monitoramento e avaliação de políticas possibilita identificar fragilidades nas práticas inclusivas, comparar espaços e avaliar a eficácia das medidas implementadas.

Especificamente, o componente P — Acessibilidade Física avalia a presença de rampas, elevadores, superfícies táteis, entradas adaptadas e áreas públicas circundantes. Universidades com a maioria dos edifícios adaptados para pessoas com mobilidade reduzida recebem pontuações elevadas, enquanto instalações governamentais mais antigas frequentemente apresentam barreiras.

O componente S — Integração e Participação Social engloba acessibilidade na comunicação, disponibilidade de serviços de apoio e envolvimento da comunidade na tomada de decisões. Centros culturais que oferecem tradução em língua de sinais e programas para idosos apresentam pontuações mais altas neste componente.

O componente D — Acessibilidade Digital considera a conformidade com as normas WCAG, interfaces adaptativas e integração de tecnologias assistivas. Portais municipais compatíveis com leitores de tela e assistentes de voz demonstram altos níveis de inclusão digital.

O uso deste índice fornece base científica para planejar projetos de infraestrutura, sociais e digitais, assegura igualdade de oportunidades e estabelece critérios para análises comparativas, apoiando recomendações práticas para aumentar inclusividade e sustentabilidade em diversos ambientes (fórmula 1).

$$I = w_1P + w_2S + w_3D \quad (1)$$

onde:

- w_1, w_2, w_3 - coeficientes de ponderação refletindo a prioridade relativa de cada componente;
- P - acessibilidade física de edifícios, espaços internos e áreas públicas adjacentes;
- S - integração social e participação em atividades sociais, educacionais e culturais;
- D - acessibilidade digital, incluindo plataformas online e ferramentas tecnológicas necessárias para participação plena.

O modelo proposto combina abordagens normativas, práticas e analíticas, apoiando-se em estruturas internacionais [1], diretivas da ONU e da UE, recomendações da OMS e normas nacionais ucranianas [6] que definem requisitos

para ambientes sem barreiras e design universal. Sua fundamentação busca estabelecer um mecanismo integrado para avaliar a inclusividade, combinando indicadores quantitativos e qualitativos alinhados aos princípios de desenvolvimento sustentável, igualdade de oportunidades e governança participativa.

Essa abordagem possibilita análise comparativa entre instituições e setores — de ambientes educacionais a sistemas de infraestrutura municipal — identificando áreas prioritárias para modernização. A integração do Índice de Inclusividade (I) em estratégias de desenvolvimento comunitário, planejamento universitário e projetos urbanos fortalece o controle de qualidade, melhora a eficiência no uso de recursos, a coesão social e a responsabilidade governamental.

Além disso, o modelo possui valor preditivo: a partir dos dados coletados, permite identificar desequilíbrios estruturais, determinar grupos vulneráveis e simular cenários de longo prazo para melhoria da inclusividade. Para profissionais — planejadores urbanos, administradores educacionais, arquitetos e especialistas em políticas sociais — essa ferramenta analítica serve como base para decisões gerenciais, justificativa de financiamento e design de intervenções adaptativas ou tecnológicas em estruturas de “cidades inteligentes”. Assim, o modelo assegura avaliação abrangente da acessibilidade e participação, reforçando a base de evidências para a implementação da estratégia nacional da Ucrânia para desenvolvimento inclusivo e sustentável (tabela 1).

Tabela 1: Componentes-chave e exemplos de mensuração da inclusividade

Componente	Descrição	Exemplo de Pontuação (0–1)	Fonte de Dados
P — Acessibilidade Física	Disponibilidade de rampas, elevadores, superfícies táteis, entradas adaptadas, parques e zonas de pedestres	0,8 – universidades com maioria dos edifícios adaptados	DBN V.2.2-40:2018
S — Integração Social	Acessibilidade na comunicação, serviços de apoio, programas inclusivos, participação em decisões	0,9 – centros culturais com tradução em língua de sinais, programas para idosos	Pesquisas, monitoramento interno
D — Acessibilidade Digital	Conformidade com normas WCAG, tecnologias assistivas, adaptação móvel	1,0 – portal municipal compatível com leitores de tela	WCAG 2.1, ISO/IEC 40500

Fonte: desenvolvimento próprio com base em [6,7]

Explicação dos Componentes do Modelo

1. Coeficientes de Ponderação (w_1, w_2, w_3).

Os coeficientes de ponderação indicam a importância relativa de cada componente em contextos sociais, educacionais ou urbanos. Eles permitem adaptar o modelo às necessidades de diferentes grupos. Em instituições educacionais, w_1 (acessibilidade física) e w_3 (acessibilidade digital) são mais relevantes, garantindo espaços de aprendizagem sem barreiras e infraestrutura

digital. Em ambientes culturais ou urbanos, w_2 (participação social) ganha maior significado, promovendo inclusividade e engajamento comunitário.

Para normalização, a soma total dos coeficientes deve ser igual a um (Equação 2):

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (2).$$

2. *Acessibilidade Física (P).*

Este parâmetro avalia soluções arquitetônicas e de design espacial, como rampas, elevadores, larguras de portas, superfícies táteis, iluminação e sinalização. A avaliação baseia-se na conformidade com o Código de Construção Estatal Ucrâniano DBN V.2.2-40:2018 [6] e com normas internacionais ISO/EN que definem requisitos de acessibilidade e princípios de design universal.

3. *Integração e Participação Social (S).*

Este componente avalia o nível de envolvimento público e interação entre diferentes grupos. Considera serviços de apoio, acessibilidade na comunicação, programas inclusivos e representação nos processos decisórios. A integração social indica engajamento genuíno, senso de pertença e confiança mútua, indo além da simples inclusão física.

4. *Acessibilidade Digital (D).*

O parâmetro D avalia o acesso a plataformas e serviços digitais, conformidade com as normas WCAG 2.1 [7] e o uso de tecnologias assistivas para usuários com deficiências visuais, auditivas ou motoras. Também considera a adaptabilidade móvel e o design de interfaces claras e intuitivas.

A expansão da inclusão digital permite participação equitativa na educação, no trabalho, no engajamento cívico e no acesso a serviços administrativos (Figura 1).

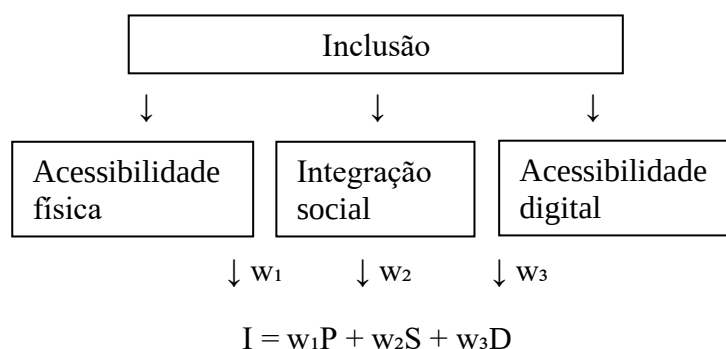


Figura 1. Representação Esquemática do Modelo do Índice de Inclusividade
Fonte: desenvolvimento do autor

Aplicações Práticas

- **Planejamento Urbano:** o cálculo do índice I para espaços públicos ajuda a identificar prioridades de melhoria da infraestrutura (rampas, rotas de transporte acessíveis, serviços digitais).
- **Instituições Educacionais:** universidades podem utilizar o índice para avaliar acessibilidade do campus, qualidade do engajamento digital e igualdade na participação.
- **Política Pública:** autoridades governamentais podem empregar o índice I como indicador de monitoramento de normas nacionais e internacionais de acessibilidade e para otimizar a alocação de recursos.

Interpretação dos Resultados

Valores mais elevados do índice I indicam um ambiente mais inclusivo, no qual as dimensões de acessibilidade física, social e digital são realizadas de forma integrada. O modelo permite comparações entre instituições, cidades e regiões, identifica pontos fortes e apoia o planejamento e aprimoramento baseado em evidências.

Em última instância, este quadro fornece uma abordagem estruturada, mensurável e sensível ao contexto para a avaliação da inclusividade, transformando-a de um julgamento qualitativo em um sistema de avaliação quantitativa cientificamente fundamentado.

Ambiente Inclusivo e Potencial de Desenvolvimento: Normas e Práticas Internacionais

O princípio da inclusão está consagrado em convenções internacionais e estruturas políticas-chave, estabelecendo uma base jurídica e normativa unificada para o acesso igualitário e participação nos âmbitos social, educacional, cultural e urbano.

1. Convenção da ONU sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência [3]

Assegura o direito à educação, cultura e serviços sociais sem discriminação, obrigando os Estados a promover acessibilidade universal e remover barreiras físicas, sociais e informacionais.

Ênfase especial é dada à participação de pessoas com deficiência nos processos de tomada de decisão, afirmando a inclusão como princípio tanto jurídico quanto humanitário.

2. Iniciativa “Educação para Todos” da UNESCO [1]

Promove a criação de currículos inclusivos, formação docente, ambientes de aprendizagem adaptativos e políticas de apoio que permitem a cada aprendiz realizar seu potencial.

A pedagogia inclusiva favorece tanto o desempenho acadêmico quanto a integração social, abordando desigualdades decorrentes de limitações físicas, cognitivas ou socioeconômicas.

3. Diretrizes da Comissão Europeia sobre Educação Inclusiva e Espaço Público Acessível [5]

Fornecem um quadro metodológico para construção de sistemas educacionais e ambientes urbanos inclusivos, integrando acessibilidade arquitetônica, social e digital.

Introduzem também mecanismos de monitoramento para avaliar a conformidade com os padrões e medir a eficácia das estratégias de inclusão.

Impacto nas Políticas e Práticas

Normas internacionais orientam a legislação nacional e estratégias institucionais, integrando dimensões físicas, sociais e digitais da acessibilidade.

Sua implementação apoia a formulação de políticas baseada em evidências, aumenta a responsabilidade institucional e harmoniza abordagens inclusivas entre países e setores.

Assim, a adesão a essas normas permite que governos, instituições educacionais e planejadores urbanos criem ambientes que cumpram obrigações legais ao mesmo tempo em que promovem equidade social, participação e desenvolvimento sustentável.

Barreiras e Desafios para Ambientes Inclusivos

Apesar do reconhecimento crescente da importância da inclusão, múltiplas barreiras continuam a impedir a participação plena de diferentes grupos sociais nos contextos educacional, cultural, social e urbano. Esses obstáculos podem ser categorizados em quatro dimensões inter-relacionadas: física, social, digital e cultural.

Barreiras físicas incluem a inacessibilidade de edifícios, espaços públicos e instalações internas, como a ausência de rampas, elevadores, indicadores táteis ou portas suficientemente largas, o que limita a mobilidade de pessoas com deficiência e idosos e afeta indiretamente a participação social.

Barreiras sociais envolvem estereótipos persistentes, conhecimento limitado e suporte comunitário insuficiente, resultando na exclusão de processos decisórios e no acesso restrito a mentorias e redes sociais.

Barreiras digitais abrangem design inadequado de plataformas online, falta de tecnologias assistivas e ferramentas digitais não adaptativas, dificultando o engajamento educacional, profissional e cívico.

Barreiras culturais surgem quando programas ou serviços não consideram a diversidade étnica, linguística, etária ou cultural, produzindo acesso desigual e participação reduzida.

Abordagem integrada: A superação dessas barreiras exige uma estratégia multidimensional que combine marcos regulatórios, aprimoramento da infraestrutura, advocacy social e inovação tecnológica. Normas baseadas em

evidências e práticas internacionais fornecem a base metodológica para a remoção sistemática de barreiras. Intervenções abrangentes fortalecem a coesão social, ampliam oportunidades para todos os cidadãos e promovem o desenvolvimento sustentável, traduzindo a inclusão de um princípio normativo em uma prática social tangível.

Metodologia para Avaliação de Ambientes Inclusivos

Este estudo empregou uma abordagem interdisciplinar, integrando sociologia, educação, estudos urbanos e metodologias digitais [1,4]. O referencial permite uma avaliação abrangente da acessibilidade física, participação social, inclusão digital e potencial de desenvolvimento dos usuários [5,2], refletindo a interação entre fatores estruturais, sociais e tecnológicos.

A avaliação da inclusividade baseou-se em três dimensões centrais que constituem o Índice de Inclusividade (I):

1. ***Acessibilidade Física (P)***: edifícios, interiores, espaços públicos adjacentes e zonas de pedestres; características-chave incluem rampas, elevadores, sinalização e entradas livres de barreiras [6].
2. ***Participação Social (S)***: engajamento de indivíduos com mobilidade reduzida em atividades educacionais, culturais e comunitárias; mensurada por participação, satisfação dos usuários e apoio comunitário [4].
3. ***Acessibilidade Digital (D)***: acesso a plataformas digitais, serviços online e recursos informacionais; avaliada por meio de usabilidade, compatibilidade com tecnologias assistivas e disponibilidade de orientação [5].

Os métodos de coleta de dados incluíram pesquisas com especialistas e usuários, auditorias espaciais (de campo e digitais) e estudos de caso comparativos de práticas locais e internacionais [5,4].

Os critérios de avaliação abrangeram acesso físico, integração social, inclusão digital e potencial de inovação/desenvolvimento.

Este referencial metodológico oferece uma avaliação concisa e multidimensional da inclusividade, fornecendo orientações práticas para planejadores urbanos, formuladores de políticas, educadores e líderes comunitários.

Resultados Práticos

Para avaliar a inclusão nos ambientes construídos e sociais, foi realizada uma investigação de campo em instituições representativas da Ucrânia — incluindo escolas, hospitais, edifícios de serviços públicos e espaços comunitários adjacentes. A pesquisa combinou observação quantitativa, mapeamento da acessibilidade espacial e feedback qualitativo dos usuários, permitindo uma avaliação abrangente tanto da acessibilidade física quanto perceptual.

O estudo concentrou-se principalmente em pessoas com mobilidade reduzida — indivíduos com deficiência, idosos e pessoas com limitações físicas temporárias — como indicadores-chave de inclusão no design urbano e institucional.

Além disso, a acessibilidade digital e informacional foi examinada para avaliar a capacidade das instituições de apoiar a participação social híbrida, especialmente relevante em contextos de recuperação pós-crise e pós-guerra.

Acessibilidade Física

A avaliação demonstrou que a maioria dos edifícios pesquisados e seus arredores estão parcialmente em conformidade com os padrões nacionais de acessibilidade (DBN) [6], revelando uma lacuna persistente entre a regulamentação formal e a implementação prática.

As deficiências mais críticas podem ser agrupadas em quatro dimensões interconectadas:

1. Deficiências em Entradas e Adaptação Interna

- Em muitos casos, rampas estavam ausentes ou construídas com inclinações incorretas, tornando-se inseguras para usuários de cadeiras de rodas.
- Corredores e portas estreitas em instalações antigas limitam a mobilidade e a capacidade de evacuação, reduzindo a inclusão funcional.

2. Acesso Restrito a Infraestrutura e Utilidades Essenciais

- Banheiros acessíveis estão disponíveis principalmente em instalações recentemente construídas; sinalização de navegação e marcações táteis permanecem raras.

3. Inacessibilidade de Áreas Adjacentes e Espaços Públicos Compartilhados

- Calçadas irregulares e acesso limitado a vias dificultam a mobilidade segura e independente.
- A ausência de corrimãos e barreiras protetoras aumenta o risco de acidentes e limita o acesso seguro aos edifícios.
- Espaços públicos mal projetados contribuem para isolamento social e participação comunitária reduzida entre indivíduos com mobilidade limitada.

4. Impacto das Barreiras Físicas na Integração Social e Inclusão

- Deficiências na acessibilidade física afetam diretamente as oportunidades de educação, engajamento cultural e interação social, reduzindo a independência e o envolvimento comunitário.
- Obstáculos físicos são frequentemente acompanhados de barreiras psicológicas, como medo de acidentes ou dificuldades antecipadas, desencorajando a participação ativa.

A análise integrada ressalta a necessidade urgente de modernização sistemática do ambiente construído. Essas medidas são essenciais para formar uma

infraestrutura resiliente e inclusiva que assegure conforto, segurança e participação ativa de grupos com mobilidade reduzida na vida social e econômica (Tabela 2).

Tabela 2. Acessibilidade Física das Instituições e Áreas Circundantes

Tipo de Instituição	Grupo-Alvo	Conformidade DBN	Barreiras Identificadas	Fonte de Dados
Escola	Estudantes com deficiência	Parcial	Ausência de rampas na entrada principal; corredores estreitos	Pesquisa de campo
Hospital	Idosos, pessoas com mobilidade limitada	Parcial	Número limitado de elevadores; banheiros inacessíveis	Pesquisa de campo
Escritório Governamental	Público em geral, usuários de cadeiras de rodas	Baixa	Calçadas irregulares; sinalização insuficiente	Pesquisa de campo
Centro Cultural	Todos os usuários	Parcial	Rampas íngremes; assentos limitados para visitantes idosos	Pesquisa de campo

Fonte: Elaboração própria do autor.

Esses resultados fornecem evidências empíricas para recomendações de políticas voltadas à melhoria da inclusão urbana.

A novidade do estudo reside na integração de auditorias físicas, análise da percepção dos usuários e avaliação normativa dentro de um único quadro avaliativo.

Essa abordagem interdisciplinar contribui para o desenvolvimento de estratégias de planejamento urbano baseadas em dados, alinhadas aos princípios da Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente o Objetivo 11 — Cidades e Comunidades Sustentáveis.

Participação Social e Integração

As populações com mobilidade reduzida continuam significativamente sub-representadas nos âmbitos social, educacional e cultural, devido à persistente influência de barreiras físicas, psicológicas e organizacionais. A acessibilidade limitada da infraestrutura urbana — incluindo a ausência de rampas, elevadores e transportes adaptados, bem como superfícies irregulares e corredores estreitos — continua a restringir a mobilidade e a participação. Fatores psicológicos, como o medo de acidentes, a percepção de dependência e estereótipos sociais enraizados, aprofundam a sensação de exclusão. Deficiências institucionais e organizacionais, como a coordenação fragmentada entre autoridades, mecanismos de suporte insuficientes e a ausência de sistemas informativos abrangentes, agravam ainda mais o isolamento social e dificultam a inclusão plena de pessoas com deficiência na vida comunitária.

Superar essas barreiras multidimensionais exige uma abordagem sistêmica e interdisciplinar, combinando inovação tecnológica com suporte social e psicológico.

A implementação de tecnologias assistivas, como dispositivos de mobilidade inteligente, infraestrutura adaptativa e plataformas digitais acessíveis, desempenha papel crucial na restauração da independência e da participação. Igualmente importantes são os programas de reabilitação e integração social, destinados a desenvolver autoeficácia, resiliência psicológica e oportunidades de emprego para pessoas com deficiência. Nesse contexto, a cooperação entre autoridades públicas, sociedade civil e parceiros internacionais torna-se fator decisivo para a construção de ambientes inclusivos e redes sustentáveis de reabilitação.

Base metodológica: Os achados derivam de uma combinação de observações de campo, questionários estruturados e auditorias de acessibilidade realizadas em instituições educacionais, médicas e administrativas ucranianas. A abordagem de métodos mistos permitiu uma avaliação detalhada tanto de indicadores quantitativos de acessibilidade quanto de dimensões qualitativas da experiência social, revelando deficiências sistêmicas que afetam a participação cotidiana.

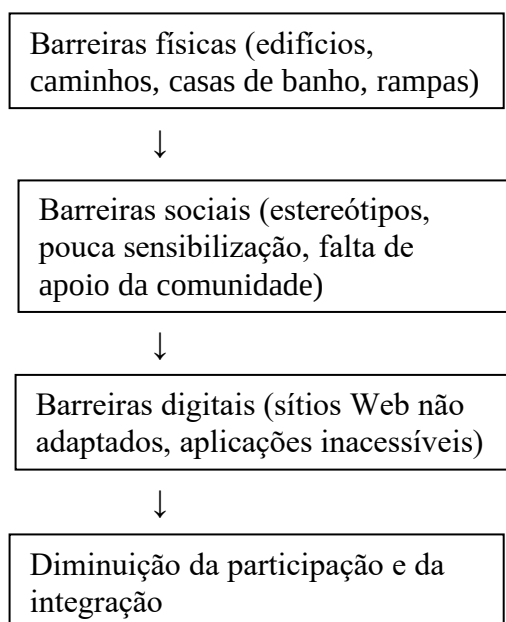
Consequências: Essas barreiras interligadas produzem um efeito cumulativo — reduzindo o envolvimento educacional e cultural, limitando perspectivas de emprego e violando direitos constitucionais e humanos de acesso igualitário. A exclusão prolongada leva à diminuição da interação social, da autoeficácia e da identidade cívica entre indivíduos com mobilidade reduzida, enfraquecendo a resiliência e a inclusividade da comunidade.

Recomendações inovadoras:

- Desenvolver redes de suporte abrangentes (assistentes, voluntários e profissionais sociais) treinadas em práticas inclusivas, para acompanhar participantes e facilitar a participação segura na vida pública.
- Fortalecer a cooperação entre autoridades municipais, ONGs e organizações comunitárias, a fim de coordenar iniciativas educacionais e culturais acessíveis.
- Melhorar a acessibilidade da informação por meio de sistemas de comunicação adaptativos, recursos web acessíveis, navegação tátil e materiais de divulgação multilíngues que suportem tecnologias assistivas.
- Realizar campanhas contínuas de sensibilização e educação pública para promover a cultura inclusiva, reduzir estigmas e normalizar a participação de pessoas com deficiência em todas as esferas da vida.

Este quadro integrado não apenas aborda barreiras físicas e informacionais, mas também introduz um modelo sistêmico de inclusão social, alinhado aos princípios da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência da ONU (CRPD), às normas europeias de acessibilidade e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 10 e ODS 11).

Enfatiza-se que a acessibilidade não é apenas uma questão técnica ou arquitetônica, mas um processo social e institucional, que exige coordenação interdisciplinar e implementação baseada em evidências (Figura 2).



Fonte: Elaboração do autor

Figura 2. Interação de Barreiras Físicas, Sociais e Digitais Reduzindo a Participação

Nota: O diagrama ilustra como múltiplas barreiras interagem para limitar a participação global. O modelo está alinhado às diretrizes internacionais e normas nacionais de acessibilidade, enfatizando a necessidade de intervenções simultâneas e abrangentes.

Acessibilidade Digital e Soluções Inovadoras

A acessibilidade digital na Ucrânia permanece fragmentada e desalinhada com os padrões internacionais contemporâneos. Uma parcela significativa dos websites governamentais e do setor privado, bem como das aplicações móveis, não está adequadamente adaptada para pessoas com deficiência, particularmente idosos e indivíduos com limitações sensoriais ou cognitivas. Atualmente, mapas interativos, sistemas de navegação por voz, interfaces adaptativas e módulos de texto para fala estão sendo implementados apenas em algumas grandes cidades, e, em sua maioria, como iniciativas locais isoladas. A ausência de um quadro nacional unificado para inclusão digital restringe a formação de um ecossistema integrado e centrado no usuário de serviços eletrônicos acessíveis a todos os cidadãos, independentemente de suas capacidades físicas ou cognitivas.

Para superar essas disparidades, é essencial estabelecer um sistema de monitoramento sistemático da inclusão digital, integrando indicadores técnicos, sociais e organizacionais. Essa abordagem permite tanto a avaliação quantitativa dos

níveis de acessibilidade quanto a análise da eficiência da implementação de políticas em escalas locais e nacionais, fornecendo uma base racional para a tomada de decisões e priorização de investimentos em tecnologias inclusivas.

Para a avaliação sistêmica da acessibilidade digital, aplica-se um método quantitativo que possibilita determinar áreas prioritárias para a introdução de tecnologias adaptativas direcionadas a diferentes categorias de usuários (Fórmula 3):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n a_i v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (3)$$

Onde:

- a_i - disponibilidade de um serviço digital específico (1 = disponível, 0 = indisponível);
- v_i - peso ou importância do serviço para um grupo específico de usuários;
- n - número de serviços avaliados;
- D - indicador global de acessibilidade digital.

Fórmula 3. Avaliação sistemática da acessibilidade digital

Este método não apenas mede a presença de funcionalidades básicas de acessibilidade, mas também define a importância relativa de cada serviço para a participação socialmente integrada. Por exemplo, a compatibilidade com leitores de tela e a navegação por voz são cruciais para pessoas com deficiência visual, enquanto interfaces adaptativas e mapas interativos com mínima interação em telas sensíveis ao toque são prioritários para indivíduos com limitações de mobilidade.

Na Ucrânia, a acessibilidade digital é regulada pelos Padrões de Construção do Estado (DBN) [6], que delineiam requisitos técnicos para infraestrutura e serviços digitais acessíveis a pessoas com deficiência. Em nível internacional, princípios semelhantes estão consagrados nas diretrizes de inclusão digital da Comissão Europeia [5]. Apesar desse arcabouço regulatório, a implementação de soluções inovadoras de acessibilidade permanece limitada devido à fragmentação sistêmica, financiamento insuficiente e à escassez de especialistas em design adaptativo.

Uma estratégia abrangente requer a integração de:

1. Desenvolvimento de plataformas digitais acessíveis unificadas;
2. Monitoramento e avaliação com base em indicadores quantitativos;
3. Capacitação de especialistas em inclusão digital e design de experiência do usuário (UX) para pessoas com deficiência;
4. Cooperação intersetorial entre atores governamentais, civis e privados.

Essa abordagem integrada garante não apenas o direito constitucional ao acesso à informação e à participação na vida pública, mas também promove inclusão social, eficiência dos serviços públicos e o crescimento de um ecossistema inovador em todo o país.

Discussão

Análise da Eficácia das Soluções Inclusivas

Evidências empíricas indicam que as medidas de inclusão física, social e digital na Ucrânia são implementadas de forma fragmentada e pouco sistemática. Apesar da existência de marcos legais e normas técnicas [5] e da Convenção das Nações Unidas [3], a implementação prática permanece inconsistente entre regiões e tipos institucionais.

Medidas físicas, incluindo rampas, portas ampliadas e banheiros acessíveis, são principalmente implementadas em construções novas ou por meio de projetos de assistência técnica internacional. Entretanto, a maioria das instalações existentes continua inacessível para pessoas com mobilidade reduzida.

Iniciativas sociais direcionadas a pessoas com mobilidade reduzida limitam-se, em grande parte, a projetos locais de curta duração e ações da sociedade civil, frequentemente sem suporte institucional sustentável. Soluções de acessibilidade digital, como websites adaptativos, aplicações móveis e sistemas de assistência por voz, concentram-se predominantemente em grandes cidades e não estão integradas de forma sistemática às infraestruturas regionais ou rurais.

Consequentemente, a eficácia geral da inclusão permanece baixa, refletida no índice composto de inclusividade ($I < 0,5$) calculado para a maioria das instituições pesquisadas.

Determinantes para a Integração Bem-Sucedida da Inclusão

A análise de práticas nacionais e experiências internacionais destaca vários determinantes-chave para a integração bem-sucedida da inclusão:

1. **Abordagem Abrangente e Multidimensional.** Os sistemas de inclusão mais eficazes combinam melhorias físicas, mecanismos de suporte social e soluções de acessibilidade digital em um quadro integrado [5].
2. **Desenvolvimento de Capacidades e Formação Profissional.** Profissionais da educação, saúde e administração devem possuir competências em comunicação inclusiva, gestão da acessibilidade e tecnologias assistivas. Treinamentos regulares garantem a sustentabilidade das práticas inclusivas.
3. **Participação Comunitária e Engajamento de Stakeholders.** O envolvimento de voluntários, ONGs locais, parceiros sociais e usuários finais no planejamento, implementação e monitoramento de projetos inclusivos aumenta a legitimidade social e a relevância prática.
4. **Suporte Normativo e Legal.** O cumprimento dos códigos de construção nacionais e das normas locais de acessibilidade deve ser obrigatório em todas as fases de projeto, reforma e licitação pública. A integração dessas normas nas regulamentações municipais melhora significativamente a eficácia e a responsabilidade a longo prazo.

Desafios na Ampliação e Sustentabilidade das Práticas Inclusivas

Apesar do aumento de projetos-piloto, a expansão sistêmica das iniciativas de inclusão enfrenta desafios persistentes:

- ***Restrições Financeiras.*** A adaptação de edifícios antigos, a modernização de espaços públicos e a implementação de medidas de acessibilidade digital exigem investimentos de capital substanciais.
- ***Fragmentação das Iniciativas.*** Muitos projetos de inclusão são isolados e de curta duração, carecendo de continuidade e integração em programas urbanos ou nacionais mais amplos.
- ***Lacunas Institucionais e Administrativas.*** A fraca coordenação entre agências governamentais, autoridades locais e organizações comunitárias reduz a coerência das políticas.
- ***Barreiras Culturais e Sociais.*** Estereótipos persistentes e compreensão limitada das necessidades de pessoas com deficiência dificultam a criação de ambientes inclusivos.

O Papel das Parcerias Público–Privadas e do Setor Civil

A inclusão efetiva requer cooperação estruturada entre instituições governamentais, comunidades locais e organizações da sociedade civil:

- O Estado regula, financia e define padrões de acessibilidade.
- Organizações da sociedade civil atuam como implementadoras e intermediárias, engajadas em advocacy e suporte.
- Autoridades locais desempenham o papel de coordenadoras na aplicação de padrões em espaços, instituições e serviços digitais.

Um modelo de parceria tri-setorial forma a base de políticas de inclusão sustentáveis, permitindo a transição de intervenções isoladas para implementação sistêmica, alinhada à justiça social, acessibilidade e igualdade de oportunidades.

Conclusões e Recomendações Práticas

Conclusões Gerais

O estudo demonstra que o estado do ambiente inclusivo na Ucrânia permanece subdesenvolvido. Normas internacionais e nacionais existentes fornecem uma base normativa, mas sua implementação prática é fragmentada e inconsistente.

Principais conclusões:

1. A acessibilidade física é limitada em edifícios antigos e espaços públicos devido à ausência de rampas, portas estreitas e superfícies irregulares.
2. A integração social é restrita por informações limitadas, baixo engajamento comunitário e serviços de apoio insuficientes.
3. A acessibilidade digital é desigual, especialmente em áreas regionais, restringindo o acesso a informações e serviços.
4. Práticas inovadoras são localizadas, sem mecanismos de ampliação.

5. Parcerias público–civis são fundamentais para inclusão sistêmica e acesso equitativo.

Recomendações Práticas:

- **Abordagem abrangente:** integrar medidas físicas, sociais e digitais em uma estratégia unificada.
- **Desenvolvimento de capacidades e formação:** preparar profissionais de instituições educacionais, de saúde e sociais em práticas inclusivas.
- **Inclusão digital:** implementar normas nacionais, interfaces adaptativas, orientação por voz e ferramentas interativas.
- **Financiamento e modernização de infraestrutura:** priorizar programas estaduais e locais, estabelecer subvenções direcionadas para projetos de acessibilidade.
- **Coordenação e parcerias:** colaboração intersetorial entre governo, sociedade civil e comunidades locais para monitorar e assegurar conformidade com os padrões.

A inclusividade constitui um processo sociopolítico e jurídico abrangente, que exige coordenação, supervisão regulatória e engajamento cívico ativo, integrado ao planejamento urbano, à educação e à governança digital.

Referências

1. UNESCO. (2020). Global Education Monitoring Report 2020: Inclusion and Education – All Means All. Paris, França: UNESCO Publishing.
2. Ainscow, M., & Booth, T. (2019). The Index for Inclusion: Developing Learning and Participation in Schools. Bristol, Reino Unido: Centre for Studies on Inclusive Education (CSIE).
3. Nações Unidas. (2006). Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD). Nova Iorque, NY: United Nations.
4. Florian, L. (2020). On the necessary co-existence of inclusive education and special education. International Journal of Inclusive Education, 24(1), 1–16.
5. Comissão Europeia. (2021). Union of Equality: Strategy for the Rights of Persons with Disabilities 2021–2030. Bruxelas, Bélgica: European Commission.
6. DBN V.2.2-40:2018. (2018). Buildings and Structures. Accessibility of Buildings and Facilities for People with Limited Mobility. Kyiv, Ucrânia: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine.
7. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. (2018). World Wide Web Consortium (W3C).

[JA_4]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

インクルーシブな環境と発展の可能性

概要

インクルーシブ環境の開発と促進は、現代社会、教育、都市の進展における基本的な側面を構成する [1,2]。多様な能力や年齢層を持つ個人に対して教育的、社会的、文化的、デジタルリソースへの公平なアクセスを確保することは、社会的結束を高め、個人の発達を支援し、制度的レジリエンスを強化する [3,4]。世界的な危機、武力紛争、急速な技術変化の文脈において、効果的で持続可能なインクルージョンの仕組みの確立は、ますます不可欠となっている [5]。

本研究は、効果的なインクルーシブ環境の主要な決定要因を明らかにし、社会的、教育的、都市的文脈での実装に向けた実証的かつ実践的な推奨事項を提示する [1,4]。研究の目的には、現代のインクルージョン理論の包括的分析 [2]、国際基準およびベストプラクティスの評価 [5]、構造的および運用上の障壁の特定 [3]、デジタルプラットフォームや空間情報ツールを活用した実践的解決策の開発 [4] が含まれる。

方法論的枠組みとして、社会学的、教育学的、都市計画的、デジタル研究の方法を統合した学際的アプローチを採用 [1,2]。データ収集には、専

専門家アンケート、物理的およびデジタルアクセシビリティの評価、インクルーシブ環境の有効性を判断するための評価基準の適用が含まれる [5]。

研究結果は、効果的なインクルージョンは、空間的、社会的、デジタルの解決策の統合的調整、利害関係者の積極的関与、体系的計画、革新的実践の推進に依存することを示している [4,1]。本研究の実践的意義は、教育機関、市民社会の主体、政府当局に対し、インクルーシブ性とアクセシビリティを向上させるための体系的な指針を提供する点にある。科学的独自性は、国際基準と国内実践を整合させつつ、高度なデジタル技術を統合した包括的評価枠組みに由来する [2,4]。

キーワード: インクルージョン、インクルーシブ環境、アクセシビリティ、社会的イノベーション、デジタル技術、学際性、教育実践
はじめに

インクルーシブ環境は、現代のコミュニティにおける社会統合および持続可能な発展の基本的要素を構成する [1,2]。この概念は、教育機関、公共施設、文化センターの物理的インフラのみならず、公園、遊び場、歩行者ゾーンなどの周辺の公共空間をも含む。さらに、インクルーシブ性はデジタル環境や情報インフラにも及び、物理的・仮想的次元の双方で包括的なアクセス可能性を保証する [5]。このような条件の整備は、特に移動制約のある人々や障害を有する個人に対して、すべての社会集団への公平なアクセスを保障し、市民生活、教育活動、文化的活動への完全な参加を促進する [3,4]。

武力紛争、社会危機、急速な技術変革が進行する現代の文脈において、インクルージョンへの多次元的アプローチの必要性はますます重要となる [4,1]。インクルーシブ環境の整備には、規制および技術的枠組みの遵守が求められ、例えばウクライナの建築基準 DBN V.2.2-40:2018「建物および構造物。移動制約者のための建物および施設のアクセシビリティ」 [6] などの国内建築基準や、その他の国内外のバリアフリーおよびアクセシビリティ関連基準に従う必要がある [6]。これらの規範は、都市空間や制度的空間が社会の多様なニーズに適合するための法的・技術的基盤を提供する。

本研究の科学的・実践的意義は、空間的、社会的、デジタル的解決策を統合し、インクルーシブ開発の統一的概念モデルに組み込む能力にある。具体的には、インクルーシブ環境の創出は以下を保証する：

- 教育、社会、文化的資源への普遍的アクセスを確保し、社会的制度との完全な関与を可能にすること。

- 学習、自己実現、社会参加を支援することで個人の潜在能力を開発すること。
- 国際基準と地域の実践を統合し、都市計画者、教育者、政策立案者が最良のグローバルプラクティスを地域の現実に調和させること [5,4]。

本研究の主目的は、効果的なインクルーシブ環境の主要決定要因を特定し、多様な社会的、教育的、都市的文脈における実施のための実践的推奨事項を策定することである [1]。この目的を達成するために、以下の課題が設定された：

- 現代のインクルージョン概念を包括的に分析し、理論的基盤と学際的アプローチを明らかにすること。
- 国際および国内のアクセシビリティ基準を、法的遵守、実務適用性、実現可能性の観点から評価すること。
- 移動制約のある人々が直面する障壁（物理的、社会的、文化的、デジタル的）を特定すること。
- 空間計画、建築設計、デジタルプラットフォームを統合した解決策を検討し、インクルーシブな参加と公平なアクセスを確保すること。

これらの課題を体系的に遂行することで、政策、設計、公共管理におけるインクルーシブアプローチの発展が促進される。本研究は、アクセシビリティ、社会的公平性、持続可能な発展の密接な相互関係を強調し、インクルージョンを単なる法的・倫理的義務としてではなく、現代社会の進展のための戦略的前提条件として位置付ける。

理論的レビュー

インクルージョンの概念と定義

インクルージョンは、多次元かつ動的なプロセスとして定義され、すべての社会集団が社会的、教育的、文化的、都市開発プロセスに平等にアクセスし、積極的に参加し、有意義に関与できる条件を創出することを目的とします [1, 4]。この概念は、建物や内部空間、隣接する公共空間の物理的アクセシビリティだけでなく、デジタル・情報・コミュニケーション資源の統合も含み、移動制約のある個人、障害者、高齢者、その他の周縁化されたグループの参加を可能にします [3]。インクルージョンは、物理的障壁の除去だけでなく、相互支援、意思決定への参加、対人スキル向上を促進する社会的条件の創出も扱います。

さらに、インクルージョンは社会的正義を強化し、個人の発展の機会を拡大し、社会的相互作用を高めることを目的としています。それは、すべての参加者が市民生活、教育プロセス、文化活動、都市イニシアティブ

に積極的に関与できる、結束力のある参加型で相互支援的なコミュニティを育成します。このアプローチにより、多様な人口集団のニーズを包括的に評価でき、地域および国家レベルでのインクルーシブ開発戦略のより効果的な計画と実施が促進されます。

インクルーシビティの定量的評価

インクルーシビティ指数（I）は、特定環境の包括性を評価し、その構成要素を分析する総合的定量指標です。この指標により、利害関係者、政策立案者、都市計画者、教育・公共機関管理者は、物理的・社会的・デジタルのアクセシビリティや多様な人口の参加度を客観的に評価できます。計画やモニタリング、政策評価に統合することで、インクルーシブ実践の課題を特定し、空間間比較や施策の有効性評価が可能です。

具体的には、P - 物理的アクセシビリティは、スロープ、エレベーター、触覚面、適応型入口、および周辺公共空間の有無を評価します。例えば、多くの建物が移動制約者向けに適応されている大学は高得点を獲得しますが、古い政府施設ではアクセス障壁が目立つことが多いです。S - 社会的統合と参加は、コミュニケーションのアクセシビリティ、支援サービスの提供、意思決定への地域社会の関与を含みます。手話通訳や高齢者向けプログラムを提供する文化センターは、この要素で高評価を得ます。D - デジタルアクセシビリティは、WCAG基準の遵守、適応型インターフェース、支援技術の統合を考慮します。スクリーンリーダーや音声アシスタントに対応した自治体ポータルは、高いデジタル包摂レベルを示します。

この指数の使用により、インフラ、社会的プロジェクト、デジタルプロジェクトの計画に科学的根拠が提供され、平等な機会が確保され、比較分析の基準が設定されます。また、環境の包摂性と持続可能性を向上させる実践的な提言の作成を支援します（式1）：

$$I = w_1P + w_2S + w_3D \quad (1)$$

ここで：

- w_1, w_2, w_3 - 各要素の相対的優先度を反映した重み係数
- P - 建物、内部空間、隣接公共空間の物理的アクセシビリティ
- S - 社会的統合および社会的、教育的、文化的活動への参加
- D - デジタルアクセシビリティ（オンラインプラットフォームや完全参加に必要な技術ツールを含む）

提案モデルは、国際的枠組み[1]、国連およびEUの指令、WHOの勧告、ウクライナ国内基準[6]に基づく規範的、実践的、分析的アプローチを統

合しています。概念的基盤は、持続可能な開発、平等な機会、参加型ガバナンスの原則に沿った定量・定性指標を統合した包摂性評価のメカニズムを確立することを目的としています。

このアプローチにより、教育機関から自治体インフラシステムまで、機関・部門間の比較分析が可能となり、近代化の優先分野を特定できます。インクルーシビティ指数（I）の体系的統合は、地域開発戦略、大学計画、都市プロジェクトにおける品質管理を強化するとともに、資源効率、社会的結束、行政責任の向上にも寄与します。

さらに、このモデルは予測的価値を有します。収集されたデータにより、利害関係者は構造的な不均衡を特定し、リスクのある集団を把握し、包摂性向上のための長期シナリオをシミュレーションできます。都市計画者、教育管理者、建築家、社会政策専門家を含む実務者にとって、この分析ツールは意思決定、資金配分の正当化、「スマートシティ」枠組み内での適応的・技術的介入の設計の基盤として機能します。したがって、このモデルはアクセシビリティと参加度の包括的評価を保証するとともに、ウクライナの国家的包摂・持続可能開発戦略の実施に向けたエビデンスに基づく基盤を強化します（表1）。

表1：インクルーシビティの主要構成要素と評価例

要素	説明	評価例（0-1）	データ源
P—物理的アクセシビリティ	スロープ、エレベーター、触覚面、適応型入口、公園、歩行者ゾーンの有無	0,8—ほとんどの建物が適応された大学	DBN V.2.2-40:2018
S—社会的統合	コミュニケーションアクセシビリティ、支援サービス、インクルーシブプログラム、意思決定への参加	0,9—手話通訳や高齢者向けプログラムのある文化センター	調査、内部モニタリング
D—デジタルアクセシビリティ	WCAG基準遵守、支援技術、モバイル対応	1,0—スクリーンリーダー対応の市ポータル	WCAG 2.1, ISO/IEC 40500

出典：筆者作成、[6, 7]に基づく

モデル構成要素の説明

1. 重み係数 (w_1, w_2, w_3).

重み係数は、特定の社会的、教育的、または都市的文脈における各構成要素の相対的重要性を示し、多様な利用者グループのニーズにモデルを適応させることを可能にします。例えば、教育機関では、障壁のな

い学習空間とeラーニング基盤の必要性から、 w_1 （物理的アクセシビリティ）および w_3 （デジタルアクセシビリティ）の重要性が高まります。一方、文化的・都市的環境では、公共コミュニケーションと地域社会の関与を促進するため、 w_2 （社会的参加）の比重が増します。正規化のために、重みの合計は1に等しくなります（式2）：

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (2).$$

2. 物理的アクセシビリティ (P).

このパラメータは、スロープ、エレベーター、ドア幅、触覚面、照明、サインなどの建築設計を評価します。評価は、ウクライナ建築基準 DBN V. 2. 2-40:2018 [6] と、アクセシビリティ要件およびユニバーサルデザイン原則を定める ISO/EN 国際規格への準拠に基づきます。

3. 社会的統合と参加 (S).

この構成要素は、異なる人口集団間の公共的関与および相互作用のレベルを測定します。支援サービスの提供、コミュニケーションアクセシビリティ、インクルーシブプログラムの有無、意思決定過程への代表性が考慮されます。社会的統合は、単なる物理的包摂を超えた真の関与、地域への帰属意識、相互信頼の指標として機能します。

4. デジタルアクセシビリティ (D).

Dパラメータは、デジタルプラットフォームおよびサービスへのアクセス、WCAG 2.1 [7] への適合性、視覚・聴覚・運動障害者向け支援技術の使用を評価します。また、モバイル対応性、明確でユーザーフレンドリーなインターフェース設計も評価対象となります。

デジタル包摂の拡大は、教育、雇用、市民参加、行政サービスへの平等な参加を可能にします（図1）。

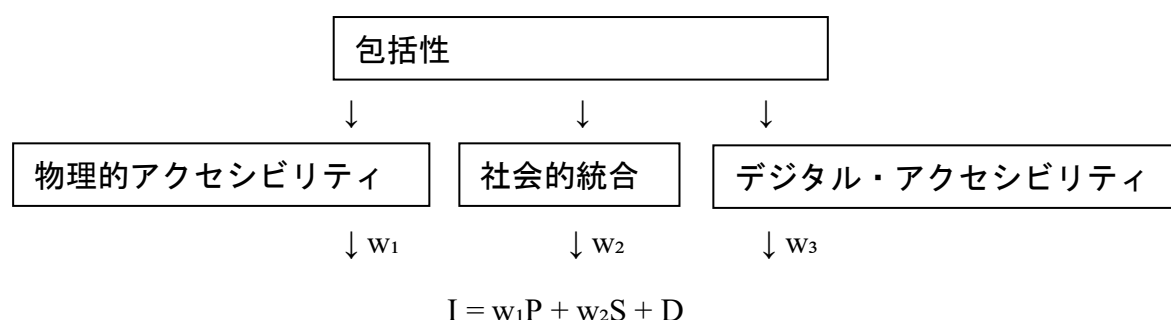


図1. インクルーシビティ指数モデルの概念図

出典：筆者作成

実践的応用

- 都市計画: 公共空間のインクルーシビティ指数 (I) を算定することで、スロープ、アクセス可能な交通経路、デジタルサービスなど、インフラ改善の優先順位を特定できます。
- 教育機関: 大学は、この指数を用いてキャンパスの物理的アクセシビリティ、デジタル参加の質、参加の平等性を評価できます。
- 公共政策: 政府当局は、国内外のアクセシビリティ基準のモニタリング指標としてIを活用し、資源配分の最適化に役立てることができます。

結果の解釈

I値が高いほど、物理的、社会的、デジタルのアクセシビリティが統合的に実現された、より包括的な環境であることを示します。本モデルは、機関、都市、地域間の比較を可能にし、強みを特定し、エビデンスに基づく計画や改善を支援します。

最終的に、この枠組みは、定性的評価を科学的根拠に基づく定量評価システムに変換する、構造化され、測定可能で文脈に適応したインクルーシビティ評価の方法を提供します。

インクルーシブ環境と開発の可能性：国際基準と実践

インクルージョンの原則は、社会的、教育的、文化的、都市的分野における平等なアクセスと参加のための統一的な法的・規範的基盤を確立する、主要な国際条約および政策枠組みに明記されています。

1. 国連障害者権利条約 [3] は、差別のない教育・文化・社会サービスの権利を保障します。加盟国は、ユニバーサルアクセシビリティの推進と障壁の除去を義務付けられます。意思決定過程への障害者参加が重視され、インクルージョンは法的・人道的原則であると確認されます。
2. ユネスコ「すべての人の教育 (Education for All)」イニシアティブ [1] は、包括的カリキュラム、教員研修、適応型学習環境、支援政策の整備を通じて、すべての学習者が潜在能力を発揮できることを促進します。インクルーシブ教育は、学業成果と社会的統合の両方を促進し、身体的、認知的、社会経済的制約に起因する不平等に対処します。
3. 欧州委員会の包括的教育およびアクセス可能な公共空間に関するガイドライン [5] は、建築的、社会的、デジタルアクセシビリティを統合することで、包括的な教育システムおよび都市環境を構築する方法論的枠組みを提供します。また、基準遵守の評価やインクルージョン戦略の効果測定のためのモニタリング機構も導入されています。

政策・実務への影響

- 国際基準は、国内法および機関戦略を導き、物理的、社会的、デジタルのアクセシビリティを統合します。その実施は、エビデンスに基づく政策立案を支援し、責任性を向上させ、国や部門を超えた包括的アプローチの調和を促進します。
- したがって、これらの規範への準拠により、政府、教育機関、都市計画者は、法的義務を満たすと同時に、社会的公平性、参加、持続可能な開発を促進する環境を創出することが可能となります。

インクルーシブ環境における障壁と課題

インクルージョンの重要性に対する認識が高まる一方で、教育、文化、社会、都市環境における多様な社会集団の完全な参加を妨げる複数の障壁が依然として存在します。これらの障壁は、物理的、社会的、デジタル的、文化的の四つの相互関連する次元に分類されます。

物理的障壁は、建物、公共空間、内部施設へのアクセスの制限を含みます。具体例としては、スロープ、エレベーター、触覚指標、十分な幅のドアの欠如などが挙げられます。これにより、障害者や高齢者の移動が制約され、間接的に社会参加にも影響を及ぼします。

社会的障壁は、固定観念の持続、認識の不足、地域社会支援の不十分さに関連し、意思決定過程からの排除やメンタリングおよび社会ネットワークへのアクセス制限を引き起こします。

デジタル障壁は、オンラインプラットフォームの不十分な設計、支援技術の不足、適応性のないデジタルツールの使用により、教育、職業、公共参加の妨げとなります。

文化的障壁は、プログラムやサービスが民族、言語、年齢、文化の多様性を考慮しないと生じ、不平等なアクセスや参加低下を招きます。

統合的アプローチ: これらの障壁に対処するには、規制枠組み、インフラ整備、社会的アドボカシー、技術革新を組み合わせた多次的戦略が必要です。エビデンスに基づく基準や国際的実践は、体系的な障壁除去の方法論的基盤を提供します。包括的介入は、社会的結束を強化し、すべての市民に機会を拡大し、持続可能な開発を促進します。これにより、インクルージョンは規範的原則から具体的な社会的実践へと転換されます。

インクルーシブ環境評価の方法論

本研究では、社会学、教育学、都市研究、デジタル手法を統合した学際的アプローチを採用しました[1, 4]。これにより、物理的アクセシビリティ、社会的参加、デジタル包摂、ユーザーの発展可能性を包括的に評価し、構造的・社会的・技術的要因の相互作用を反映できます[5, 2]。

インクルーシブ評価は、インクルーシブ指数（I）を構成する三つの主要次元に基づきます：

1. 物理的アクセシビリティ（P）：建物、内部空間、隣接する公共空間および歩行者ゾーン。重要な要素として、スロープ、エレベーター、サイン表示、バリアフリー入口が含まれます[6]。
2. 社会的参加（S）：移動制約のある個人の教育、文化、地域活動への関与。参加状況、ユーザー満足度、地域支援を通じて測定されます[4]。
3. デジタルアクセシビリティ（D）：デジタルプラットフォーム、オンラインサービス、情報資源へのアクセス。使用性、支援技術との互換性、ガイダンスの有無によって評価されます[5]。

データ収集方法には、専門家および利用者アンケート、空間監査（現地およびデジタル）、国内外の事例比較研究が含まれます[5,4]。

評価基準には、物理的アクセス、社会的統合、デジタル包摂、革新・発展可能性が含まれます。

この枠組みは、インクルーシブ性を簡潔かつ多次元的に評価し、都市計画者や政策立案者、教育者、地域リーダーへの指針となります。

実践的成果

建造環境および社会環境のインクルーシビティを評価するため、ウクライナ国内の代表的な機関（教育施設、病院、公共サービス施設、および周辺コミュニティ空間を含む）においてフィールド調査を実施しました。本研究では、定量的観察、空間アクセシビリティのマッピング、利用者からの定性的フィードバックを組み合わせ、物理的および認知的アクセシビリティの包括的評価を可能にしました。

研究は主に、移動制約のある人々——障害者、高齢者、一時的な身体制約を有する個人——を都市および施設設計におけるインクルーシビティの主要指標として焦点を当てました。さらに、デジタルおよび情報アクセシビリティも検討し、特に危機後や戦後復興の文脈におけるハイブリッド社会参加を支援する施設能力を評価しました。

物理的アクセシビリティ

評価の結果、調査対象の建物およびその周辺の多くは国家アクセシビリティ基準（DBN）[6] に部分的に準拠しており、形式上の規制と実際の実施との間に依然としてギャップが存在することが明らかになりました。

最重要課題は、以下の四つの相互関連次元に分類されます：

1. 入口および内部適応の不足

- 多くの場合、スロープは存在しないか、傾斜が不適切で、車椅子使用者にとって安全ではありません。
- 古い施設の狭い廊下やドア幅は移動および避難能力を制約し、機能的インクルーシビティを低下させます。

2. 基本インフラ・設備へのアクセス制限

- アクセス可能なトイレは主に新設施設に限られ、案内表示や触覚標識は依然として少ないです。

3. 周辺地域および共用公共空間の非アクセシビリティ

- 凸凹の歩行者経路や限られた車道アクセスが安全かつ独立した移動を妨げます。
- 手すりや保護柵の欠如により、怪我のリスクが増加し、建物への安全な入場が制限されます。
- 不適切に設計された公共空間は、移動制約者の社会的孤立や地域参加の低下を招きます。

4. 社会統合・包摂への物理的障壁の影響

- 物理的アクセシビリティの不足は、教育、文化活動、社会的交流の機会に直接影響し、自立性および地域参加を低下させます。
- 物理的障壁は、怪我の恐れや予期される困難といった心理的障壁を伴うことが多く、積極的な参加を妨げます。

統合分析により、建造環境の近代化の緊急性が強調されます。これらの対策は、移動制約者が社会・経済生活に快適かつ安全に参加できる、強靱でインクルーシブなインフラ形成に不可欠です（表2）。

表2. 施設および周辺地域の物理的アクセシビリティ

施設種別	対象グループ	DBN準拠	特定された障壁	データ源
学校	障害のある学生	部分的	主要入口にスロープがない；狭い廊下	フィールド調査
病院	高齢者、移動制約者	部分的	エレベーター数が少ない；トイレ非対応	フィールド調査
政府施設	一般市民、車椅子使用者	Low	歩道の凸凹；不十分な案内表示	フィールド調査
文化センター	全利用者	部分的	急傾斜のスロープ；高齢者向け座席不足	フィールド調査

出典：筆者作成

これらの結果は、都市のインクルーシビティ向上を目的とした政策提言の実証的根拠を提供します。本研究の新規性は、物理的監査、利用者認識分析、規範的評価を単一の評価枠組みに統合した点にあります。

この学際的アプローチは、国連障害者権利条約および持続可能な開発目標（SDGs）、特に目標11「持続可能な都市とコミュニティ」の原則に沿った、データ駆動型都市計画戦略の開発に寄与します。

社会的参加と統合

移動制約のある人々は、物理的、心理的、組織的障壁の持続的影響により、社会的、教育的、文化的分野で依然として著しく過小評価されています。都市インフラの限定的なアクセシビリティスロープ、エレベーター、適応交通手段の不足、凸凹のある歩行面、狭い廊下などは、移動性および参加の制約を引き続きもたらしめています。怪我の恐れ、依存感の認知、根強い社会的固定観念などの心理的要因は、排除感を深めます。さらに、権限者間の断片的な調整、支援メカニズムの不十分さ、包括的情報システムの欠如などの制度的・組織的欠陥が、社会的孤立を悪化させ、障害者の地域社会への完全な統合を妨げています。

これらの多次元障壁を克服するには、技術革新と社会的・心理的支援を組み合わせた体系的かつ学際的なアプローチが必要です。スマートモビリティ機器、適応型インフラ、デジタルアクセシビリティプラットフォームなどの支援技術の導入は、自立性と参加を回復する上で重要な役割を果たします。同様に重要なのは、障害者の自己効力感、心理的レジリエンス、雇用機会を育成することを目的としたリハビリテーションおよび社会統合プログラムです。この文脈において、公的機関、市民社会、国際パートナー間の協力は、インクルーシブな環境および持続可能なリハビリテーションネットワークの構築における決定的要因となります。

方法論的基盤：本研究の知見は、ウクライナの教育、医療、行政機関で実施された現地観察、構造化アンケート、およびアクセシビリティ監査の組み合わせに基づいています。混合手法アプローチにより、アクセシビリティの定量的指標と社会的経験の質的側面を精緻に評価し、日常参加に影響を及ぼす体系的欠陥を明らかにしました。

影響：これらの相互関連する障壁は累積的な影響を生じさせ、教育および文化参加の減少、雇用機会の制限、平等なアクセスに対する憲法上および人権上の権利の侵害をもたらします。長期的な排除は、移動制約者の社会的交流、自己効力感、市民的アイデンティティを低下させ、地域社会のレジリエンスおよび包摂性を弱めます。

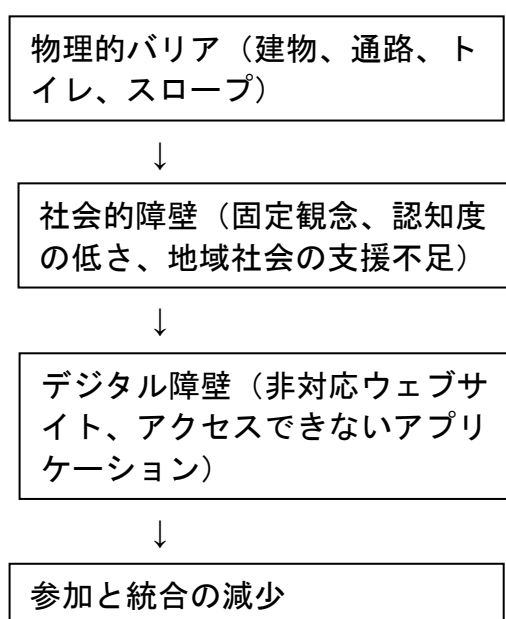
革新的推奨策

- 包括的支援ネットワーク（アシスタント、ボランティア、ソーシャルワーカー）を開発し、参加者に同行し安全な公共生活参加を促進。

- 市当局、NGO、地域団体間の協力を強化し、アクセス可能な教育・文化イニシアティブを調整。
- 適応型通信システム、アクセシブルなウェブ資源、触覚ナビゲーション、多言語広報資料などを通じて情報アクセスを改善。
- 公共啓発・教育キャンペーンを継続的に実施し、包括的文化を促進、スティグマを軽減、障害者の全生活領域での参加を標準化。

この統合フレームワークは、物理的および情報的障壁への対処にとどまらず、社会的包摂の体系的モデルを導入しており、国連障害者権利条約（CRPD）原則、欧州アクセシビリティ基準、持続可能な開発目標（SDG 10 および SDG 11）と整合しています。

本モデルは、アクセシビリティが単なる技術的・建築的課題ではなく、学際的調整とエビデンスに基づく実施を必要とする社会的・制度的プロセスであることを強調します（図2）。



出典：筆者作成

図2. 参加を制限する物理的・社会的・デジタル障壁の相互作用

※図は複数の障壁がどのように相互作用して全体的な参加を制限するかを示しています。本モデルは国際的ガイドラインおよび国内アクセシビリティ基準と整合し、同時かつ包括的な介入の必要性を強調しています。

デジタルアクセシビリティと革新的ソリューション

ウクライナにおけるデジタルアクセシビリティは依然として断片的であり、現代の国際基準と一致していません。政府および民間部門のウェブ

サイトやモバイルアプリケーションの多くは、特に高齢者や感覚・認知障害のある個人に対して十分に適応されていません。現状では、インタラクティブマップ、音声ナビゲーションシステム、適応型インターフェース、テキスト読み上げモジュールは、主要都市のごく一部でのみ導入されており、主に個別の地域的イニシアティブとして実施されています。統一された全国的なデジタル包摂フレームワークの不在は、身体的・認知的能力に関わらず、すべての市民がアクセス可能な統合的で利用者中心の電子サービスエコシステムの形成を制約しています。

これらの格差を克服するためには、技術的、社会的、組織的指標を統合したデジタル包摂の体系的モニタリングフレームワークを確立することが不可欠です。このアプローチにより、アクセシビリティ水準の定量的評価および地域・国家レベルでの政策実施効率の評価が可能となり、意思決定や包摂技術への投資優先順位設定の合理的基盤を提供します。

デジタルアクセシビリティの体系的評価には、定量的手法が適用され、多様なユーザーカテゴリに適応した技術導入の優先領域を特定できます（式3）。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n a_i v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (3)$$

ここで、

- a_i - 特定のデジタルサービスの利用可能性（1 = 利用可能、0 = 利用不可）
- v_i - 特定ユーザーグループにおけるサービスの重要度
- n - 評価対象のサービス数
- D - デジタルアクセシビリティの総合指標

式3は、基本的なアクセシビリティ機能の存在を測定するだけでなく、社会的統合参加における各サービスの相対的重要性を定義します。例えば、視覚障害者にとってはスクリーンリーダー互換性や音声ナビゲーションが重要であり、移動制約者には最小限のタッチ操作で利用可能な適応型インターフェースやインタラクティブマップが優先されます。

ウクライナでは、デジタルアクセシビリティは国家建築基準（DBN）[6]によって規制されており、障害者向けのアクセシブルインフラおよびデジタルサービスに関する技術要件が定められています。国際的には、欧州委員会のデジタル包摂ガイドライン[5]に同様の原則が明記されています。しかし、制度の断片化、資金不足、適応型デザインの専門家不足により、革新的アクセシビリティソリューションの導入は限定的です。

包括的戦略としては、以下を統合することが必要です：

1. 統一されたアクセシブルなデジタルプラットフォームの開発
2. 定量指標に基づくモニタリングおよび評価
3. 障害者向けデジタル包摂およびUXデザイン専門家の育成
4. 政府、市民社会、民間部門の横断的協力

この統合的アプローチは、情報アクセスおよび公共生活参加の憲法上の権利を保障するだけでなく、社会的包摂、公的サービスの効率性、国内における革新的エコシステムの成長を促進します。

考察

インクルーシブ施策の有効性の分析

実証的証拠によれば、ウクライナにおける物理的、社会的、デジタルのインクルージョン施策は、断片的かつ体系的でない形で実施されていることが示されています。法的枠組みや技術基準[5]、国連条約[3]の存在にもかかわらず、地域や施設の種類によって実際の実施状況は一貫性を欠いています。

物理的施策（スロープ、拡張されたドア、アクセシブルなトイレなど）は、主に新築建物または国際的技術支援プロジェクトを通じて導入されています。一方で、既存の多くの施設は依然として移動制約者にとってアクセス不可能な状態です。

移動制約者を対象とした社会的施策は、主に短期的な地域プロジェクトや市民社会の活動に限られ、持続可能な制度的支援が不足しています。デジタルアクセシビリティの解決策（適応型ウェブサイト、モバイルアプリケーション、音声支援システムなど）は、大都市に集中しており、地域や農村部のインフラには体系的に統合されていません。

その結果、包括性の総合的效果は低く、調査対象施設の大多数で算出された包括指数（ $I < 0.5$ ）に反映されています。

インクルーシブ統合の成功要因

国内実践および国際的経験の分析により、インクルーシブ統合の成功に寄与するいくつかの主要要因が明らかになっています：

1. 包括的かつ多次元的アプローチ

最も効果的なインクルージョンシステムは、物理的改善、社会的支援メカニズム、デジタルアクセシビリティソリューションを統合的な枠組みで組み合わせています[5]。

2. 能力構築および専門的訓練

教育、医療、行政の担当者は、包括的コミュニケーションやアクセシビリティ管理、支援技術の専門能力を持つ必要があります。定期研修は、インクルーシブな実践の持続性を保証します。

3. 地域参加および利害関係者の関与

ボランティア、地域NGO、社会的パートナー、最終利用者をインクルーシブプロジェクトの計画、実施、モニタリングに関与させることは、社会的正当性と実務上の関連性を高めます。

4. 規範的および法的支援

設計、改修、公共調達すべての段階で、国家建築基準および地域アクセシビリティ基準の遵守を義務付ける必要があります。これらの基準を自治体規制に統合することで、長期的な効果性と説明責任が大幅に向上します。

包摂的实践の拡大と持続における課題

パイロットプロジェクトの数が増加しているにもかかわらず、包摂的取り組みの体系的な拡大・持続には、依然として課題がある。

- 財政的制約: 既存の建物の改修、公共空間のアップグレード、デジタルアクセシビリティの実装には、多額の資本投資が必要である。
- 取り組みの断片化: 多くの包摂プロジェクトは孤立・短期的で、都市計画や国家開発プログラムへの統合や継続性に欠ける。
- 制度的・行政的ギャップ: 政府機関、地方自治体、地域団体間の調整が不十分であり、政策の一貫性を損なっている。
- 文化的・社会的障壁: 障害者のニーズに対する理解不足や固定観念の存在が、包摂的環境の構築を阻害している。

官民および市民セクターのパートナーシップの役割

効果的な包摂には、政府機関、地域社会、市民社会組織の間で構造化された協力が必要である。

- 国家の役割: 規制の設定、資金提供、アクセシビリティ基準の策定。
- 市民社会組織の役割: 実施者および仲介者として活動し、擁護や支援に関与する。
- 地方自治体の役割: 空間、機関、デジタルサービスにおける基準適用の調整者として機能する。

三者セクターのパートナーシップモデルは、持続可能な包摂政策の基盤を形成し、孤立的介入から社会的公正、アクセシビリティ、機会均等に沿った体系的実施への移行を可能にする。

結論および実践的提言

総合的結論

本研究は、ウクライナにおける包摂環境が依然十分に発展していないことを示す。現行の国際・国内基準は規範的基盤を提供するものの、その実践は断片的で一貫性を欠く。

主要結論

1. 既存の建物や公共空間では、スロープの不足、狭い出入口、不均一な床面などにより、物理的アクセシビリティが制限されている。
2. 限られた情報提供、地域社会の関与の低さ、不十分な支援サービスにより、社会的統合が制約されている。
3. デジタルアクセシビリティは地域によって不均一であり、情報やサービスへのアクセスを制限している。
4. 革新的実践は局所的にとどまり、拡張の仕組みが整っていない。
5. 公共-市民パートナーシップは、体系的な包摂および公平なアクセスの確保に不可欠である。

実践的提言

- 包括的アプローチ: 物理的、社会的、デジタルの各施策を統合した統一戦略に組み込む。
- 能力開発と研修: 教育・医療・社会福祉機関の人材を包摂的实践に対応できるよう準備する。
- デジタル包摂: 国家基準の実施、適応型インターフェース、音声案内、インタラクティブツールを導入する。
- 資金調達およびインフラ整備: 国家および地方プログラムを優先し、アクセシビリティプロジェクト向けのターゲット助成金を設置する。
- 調整とパートナーシップ: 政府、市民社会、地域コミュニティ間の部門横断的協力により、基準の遵守を監視・確保する。

包摂性は、都市計画、教育、デジタルガバナンスに統合され、調整、規制監督、積極的な市民参加を要する包括的な社会法的过程である。

参考文献

1. UNESCO. (2020). Global Education Monitoring Report 2020: Inclusion and Education – All Means All. パリ、フランス: UNESCO出版.
2. Ainscow, M., & Booth, T. (2019). The Index for Inclusion: Developing Learning and Participation in Schools. ブリストル、イギリス: Centre for Studies on Inclusive Education (CSIE).
3. United Nations. (2006). Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD). ニューヨーク、米国: 国連.

4. Florian, L. (2020). On the necessary co-existence of inclusive education and special education. *International Journal of Inclusive Education*, 24(1), 1–16.
5. European Commission. (2021). Union of Equality: Strategy for the Rights of Persons with Disabilities 2021–2030. ブリュッセル、ベルギー: 欧州委員会.
6. DBN V.2.2-40:2018. (2018). Buildings and Structures. Accessibility of Buildings and Facilities for People with Limited Mobility. キーウ、ウクライナ: ウクライナ地域開発・建設・住宅・公共サービス省.
7. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. (2018). World Wide Web Consortium (W3C).

[UA_5]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumska Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Теплостійкість і маскування об'єктів

Анотація

У статті представлено інноваційний міждисциплінарний і комплексний підхід, спрямований на зменшення ефекту міських теплових островів і підвищення рівня захисту будівель та критичної інфраструктури від виявлення тепловізійними системами. Запропонована методологія поєднує сучасні стандарти теплової ізоляції [1, 2] з передовими розробками в галузі інфрачервоної камуфляжної технології та низькоемісійних покриттів [3, 4]. На відміну від традиційних інженерних рішень, підхід інтегрує технічні, екологічні та соціальні аспекти, одночасно охоплюючи питання енергоефективності, кліматичної стійкості та створення безпечного і комфортного середовища для людини.

Дослідження передбачає детальний аналіз експлуатаційних умов за різких коливань температури та оцінку ефективності низькоемісійних матеріалів ($\epsilon = 0,3\text{--}0,4$) у зниженні теплового випромінювання поверхонь. Особливу увагу приділено порівнянню традиційних конструкцій радянського періоду ($R \approx 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, $\epsilon = 0,85$), які забезпечують мінімальний рівень захисту від інфрачервоного виявлення, із сучасними багатошаровими системами з підвищеним термічним опором ($R = 3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$), здатними знижувати інфрачервону помітність об'єктів на 45–50% [5].

Результати показують значний потенціал запропонованого підходу для одночасного зменшення енергоспоживання (на 15–20% у зимовий період), зниження теплового навантаження на довкілля та підтримання комфортного мікроклімату всередині приміщень. У цивільному секторі це сприяє підвищенню енергоефективності будівель, зміцненню кліматичної стійкості та сталому розвитку урбанізованих територій, тоді як у спеціалізованих умовах — забезпечує підвищення рівня маскування споруд від тепловізійного нагляду, захищаючи критичну інфраструктуру, тимчасові укриття та модулі екстреного реагування.

Запропонована методологія підкреслює універсальність і багатofункціональність сучасних технологій теплового маскування, розширюючи їх застосування поза межами оборонної сфери — у напрямі екологічно орієнтованих і соціально значущих проєктів, зокрема зменшення теплового забруднення, оптимізації енергоспоживання та покращення якості міського середовища.

Ключові слова: міські теплові острови, тепла ізоляція, енергоефективність, інфрачервоні камуфляжні технології, кліматична стійкість, соціальний ефект, теплове маскування, термічний опір, екологічний вплив, оборонні застосування.

Вступ

Технології теплового маскування та управління інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням представляють собою динамічно розвиваючуся галузь із значним потенціалом як для підвищення енергоефективності будівель, так і для забезпечення безпеки критичної інфраструктури. Зростання застосування супутникових, безпілотних повітряних та наземних систем спостереження стимулює попит на інноваційні матеріали, конструктивні рішення та аналітичні методи, здатні контролювати теплові сигнатури об'єктів та знижувати ймовірність небажаного виявлення [3, 4]. У цьому контексті особливого значення набуває міждисциплінарний та комплексний підхід, що інтегрує досягнення матеріалознавства, принципи екологічної сталості та інженерного проектування для задоволення як цивільних, так і спеціалізованих експлуатаційних потреб.

Сучасні будівельні норми та міжнародні стандарти [1, 2] встановлюють мінімальні вимоги до теплового опору (R -value, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$) різних конструктивних елементів, наприклад, $R = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ для стін, перекриттів та скляних елементів. Проте традиційні підходи рідко враховують інфрачервону видимість будівель або їхній вплив на формування ефекту міських теплових островів. Використання сучасних матеріалів з низьким коефіцієнтом випромінювання ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) та оптимізація багатошарових конструкцій

дозволяють підвищити R до $3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, що забезпечує суттєве зменшення теплового випромінювання, підвищення стійкості будівель до різких коливань температури та вимірювану економію енергії [5].

Комплексний підхід до управління тепловими процесами передбачає врахування трьох взаємопов'язаних аспектів:

- **Екологічний вплив:** ефективне теплове маскування зменшує передачу тепла в навколишнє середовище, пом'якшує ефект міських теплових островів, знижує споживання енергії та підтримує стратегії адаптації до змін клімату [6, 7].
- **Соціальний вплив:** стабілізація внутрішніх температур і покращення мікроклімату створюють комфортні умови для проживання, сприяють здоров'ю, підвищенню продуктивності та якості життя, забезпечують рівний доступ до термічного комфорту для вразливих груп населення [8].
- **Оборонно-операційний аспект:** у спеціалізованих застосуваннях — включно з критичною інфраструктурою, тимчасовими укриттями, аварійно-рятувальними модулями та військовими об'єктами — теплове маскування підвищує невидимість для ІЧ-систем спостереження, збільшуючи оперативну безпеку без обмеження цивільного використання [3].

Сучасні дослідження підкреслюють міждисциплінарний характер цієї проблеми: поєднання високого теплового опору, матеріалів з низьким коефіцієнтом випромінювання та моделювання теплопередачі дозволяє оптимізувати проектування будівель з точки зору екологічної та соціальної ефективності. Інтеграція таких інженерних рішень підвищує стійкість інфраструктури до значних температурних коливань, зменшує теплове навантаження на міське середовище та підтримує комфортні умови для мешканців [4, 7]. Крім того, ці підходи відкривають можливості для масштабного впровадження у міському плануванні, розвитку «розумних міст» та архітектурі, адаптованій до кліматичних викликів.

Особливою перевагою запропонованої методології є її подвійна застосовність. У цивільному контексті підвищена теплоізоляція та покриття з низьким випромінюванням сприяють зниженню енергоспоживання, покращенню внутрішнього мікроклімату та зменшенню теплового навантаження на навколишнє середовище, що підтримує сталий розвиток міст. У спеціалізованих сферах — включно з військовою та стратегічною інфраструктурою — ті ж технології забезпечують маскування, захист критично важливих об'єктів і безпеку під час надзвичайних ситуацій, демонструючи універсальність інтегрованого підходу [3, 4].

Отже, застосування сучасних стратегій підвищеного теплового опору та покриттів з низьким випромінюванням формує новий міждисциплінарний підхід, що одночасно вирішує завдання енергоефективності, екологічної сталості та соціального благополуччя. Запропонована методологія демонструє синергетичний ефект: вона поєднує цивільні цілі енергоефективності та комфорту з оборонними завданнями маскування, сприяючи розвитку кліматично адаптованого, стійкого та соціально відповідального міського середовища.

Матеріали та методи

Дослідження проводилося в кілька етапів із застосуванням міждисциплінарного підходу, що інтегрує нормативні вимоги до теплоізоляції, сучасні матеріальні рішення та математичне моделювання теплопередачі. Основною метою методології була комплексна оцінка ефективності матеріалів з низькою емісійністю та технологій теплового маскування у контролі інфрачервоної (IR) сигнатури будівель та споруд за різних експлуатаційних умов.

Аналіз нормативів та стандартів:

Для оцінки стандартів теплоізоляції будівельних огорожувальних конструкцій було проведено комплексний огляд як національних, так і міжнародних нормативних документів. Аналіз охоплював Державні будівельні норми України [1] та міжнародний стандарт [2], які разом забезпечують порівняльну основу для оцінки характеристик будівель у різних кліматичних умовах. Ці документи визначають мінімальний показник теплового опору (R , $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$) для елементів конструкцій, включно з вертикальними стінами, горизонтальними перекриттями та дахами, прозорим склінням та зовнішніми дверима.

Впровадження таких нормативних значень слугує орієнтиром для оцінки ефективності сучасних покриттів з низькою емісійністю та багатошарових конструкційних систем, які часто перевищують мінімальні вимоги нормативних документів.

Порівняльна оцінка стандартів дозволила визначити базові критерії теплових характеристик та виявити можливості підвищення енергоефективності через інноваційні матеріали та передові конструкційні рішення. Для дослідницьких цілей було запропоновано підвищений цільовий показник теплового опору $R = 3,6 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, що перевищує нормативні мінімальні значення. Такий орієнтир відображає потенційний прогрес у проєктуванні та застосуванні матеріалів, забезпечуючи одночасно високий рівень теплоізоляції та зниження теплового випромінювання.

Крім того, застосування підвищених значень слугує орієнтиром для оцінки ефективності покриттів з низькою емісійністю та багатошарових конструкційних систем. Ці підходи сприяють зменшенню ефекту «теплого острова» в міському середовищі [6] та зниженню інфрачервоної детектованості будівель і інфраструктур [5], поєднуючи екологічні, соціальні та безпекові переваги.

Вибір матеріалів з низькою емісивністю:

Для мінімізації теплового сигналу поверхонь будівель та інших конструктивних елементів було обрано матеріали з низьким коефіцієнтом теплової емісії ($\epsilon = 0,3-0,4$). Процес відбору ґрунтувався на кількох ключових критеріях:

- **Міцність та теплова стабільність:** матеріали повинні були зберігати свої характеристики під час багаторазових коливань температури, забезпечуючи незмінність теплоізоляційних властивостей протягом тривалого часу.
- **Екологічна безпека:** надавалася перевага матеріалам, вільним від токсичних речовин, які не забруднюють довкілля та відповідають принципам сталого будівництва.
- **Практична застосовність:** обрані матеріали мали бути придатними для широкого застосування як у житловому, так і в промисловому будівництві, при цьому залишатися економічно вигідними та легкими в монтажі.

Цей методологічний підхід поєднує високу ефективність теплоізоляції з екологічними та соціальними вимогами, формуючи міждисциплінарну рамку, що виходить за межі традиційних інженерних рішень.

Математичне моделювання теплопередачі:

Для оцінки ефективності запропонованих конструкцій до багатошарових систем будівельних огорожувальних конструкцій були застосовані стандартні рівняння теплопередачі відповідно до [2]. Основне співвідношення для розрахунку теплового потоку через окремий шар конструкції задається формулою (формула 1):

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum_i R_i} = \frac{T_{inside} - T_{outside}}{\sum_i R_i} \quad (1)$$

де:

- Q – тепловий потік, Вт;
- T_{inside} - внутрішня температура, °C;
- $T_{outside}$ - зовнішня температура, °C;
- R_i - тепловий опір окремого шару, $m^2 \cdot K / W$.

Формула (1), визначена в [2], забезпечує теоретичну основу для оцінки впливу теплового опору на загальну теплопередачу. У межах моделювання це співвідношення дозволило детально оцінити, як підвищені значення R у

поєднанні з покриттями низької емісивності впливають на зменшення теплових випромінювань поверхні. Результати показали, що інтеграція багатошарових систем з високим опором та поверхневих покриттів низької емісивності значно знижує втрати тепла через огорожувальні конструкції будівель. Таке зниження не лише зменшує енергетичні потреби на опалення та охолодження, а й пом'якшує інтенсивність ефекту міських теплових островів, сприяючи екологічній сталості та кліматичній стійкості [4, 7].

Захист та спеціалізовані застосування:

Для всебічної оцінки ефективності запропонованих рішень тестування було проведено за сценаріями, що мають значення як для цивільного, так і для оборонного контексту. До них належали:

- **Захист критичної інфраструктури:** Оцінка стратегій теплового маскування та ізоляції ключових об'єктів, таких як енергетичні вузли, електростанції, розподільчі мережі та інші стратегічно важливі споруди.
- **Маскування тимчасових і постійних укриттів:** Оцінка заходів зі зменшення ймовірності виявлення під час надзвичайних ситуацій, включно з природними катастрофами та екстремальними погодними умовами.
- **Підвищення безпеки під час рятувальних операцій:** Застосування теплового маскування для підвищення безпеки операцій та ситуаційної обізнаності команд екстреного реагування.

Оцінювання проводилося із використанням тих самих моделей теплопередачі та показників інфрачервоної емісивності, що були описані раніше. Результати були кількісно визначені у термінах зменшення теплового сигнату та загального енергоспоживання, при цьому суворо виключалася будь-яка інформація, яка могла б поставити під загрозу безпеку операцій або сприяти обходу систем спостереження [3].

Для ілюстрації методології та полегшення інтерпретації результатів у дослідженні наведено наступне (Таблиця 1).

1. Характеристики конструкцій огорожувальних елементів та матеріалів

Конструкція	Товщина шару, мм	Теплопровідність λ , Вт/(м·К)	Тепловий опір R , м ² ·К/Вт	Коефіцієнт емісивності ε
Панель стіни + утеплювач	300 + 100	0,6 + 0,04	3,6	0,3
Віконна конструкція	4 + 24 + 4 + 24 + 4	0,04 + 1,1 + 0,04 + 1,1 + 0,04	0,9	0,85
Двері входу/балкона	40	0,15	0,3	0,3

Джерело: Розробка автора на основі [1, 2]

Таблиця 1 надає порівняльний огляд теплових характеристик різних конфігурацій огорожувальних конструкцій, підкреслюючи вплив багатошарових конструкцій та матеріалів із низькою емісивністю на загальну теплопередачу.

Інтерпретація результатів та методологічний перехід:

Дані, наведені в Таблиці 1, слугують основою для подальшої процедурної оцінки. З метою поглибленого аналізу практичного застосування фізико-технічних властивостей матеріалів було розроблено структуровану методологічну схему (рис. 1).

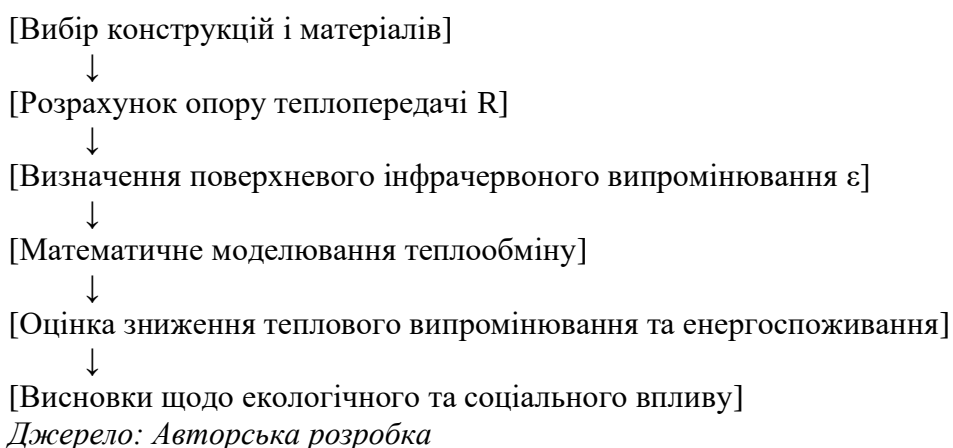


Рис. 1. Методика оцінювання ефективності теплового маскування та зниження енергоспоживання.

Запропонована схема дозволяє комплексно оцінити, яким чином поєднаний вплив теплового опору та низькоемісійних покриттів визначає загальну енергоефективність і зменшення теплової сигнатури об'єктів. Вона відображає покроковий процес кількісної оцінки теплопередачі, інфрачервоного випромінювання та пов'язаних із ними екологічних і соціальних наслідків.

Структура методики забезпечує чіткий причинно-наслідковий зв'язок між характеристиками матеріалів та результатами експлуатаційного аналізу, що формує послідовний перехід від статичних параметрів до динамічної оцінки ефективності в умовах реальної експлуатації.

Кожен етап дослідження відображає логічну послідовність наукових дій, які інтегрують нормативні вимоги, фізико-технічні характеристики матеріалів та результати математичного моделювання процесів теплопередачі.

Застосування даного підходу підтверджує, що вискооефективна тепла ізоляція, поєднана з низькоемісійними покриттями, забезпечує суттєві практичні переваги в різних галузях.

У цивільному секторі такі рішення сприяють підвищенню енергоефективності будівель, покращенню мікроклімату внутрішніх приміщень та зменшенню ефекту міських теплових островів.

У спеціалізованих оборонних та аварійно-рятувальних сценаріях ті ж принципи забезпечують стратегічне маскування об'єктів і підвищення рівня безпеки операцій, що підкреслює багатофункціональність і міждисциплінарне значення запропонованої методики [3, 4].

Оцінювання екологічного та соціального впливу:

Окрім технічних показників ефективності, переваги впровадження матеріалів із підвищеною теплостійкістю та низькою емісійною здатністю були розглянуті з екологічних і соціальних позицій. Основні аспекти цього аналізу охоплюють:

- ***Зменшення теплового навантаження на навколишнє середовище:*** Використання матеріалів із низькою емісійною здатністю у поєднанні з огорожувальними конструкціями підвищеної теплостійкості сприяє зниженню теплового забруднення довкілля. Це, у свою чергу, зменшує інтенсивність формування міських теплових островів і послаблює термічне навантаження на прилеглі екосистеми [7, 6].
- ***Енергозбереження та скорочення викидів CO₂:*** Поліпшення теплоізоляційних характеристик будівель зменшує потребу в енергії для опалення та охолодження, що веде до помітного скорочення загального енергоспоживання і пов'язаних з ним викидів парникових газів. Такий підхід відповідає глобальним цілям кліматичної нейтральності та сприяє сталому розвитку урбанізованих територій [5, 4].
- ***Підвищення комфорту користувачів:*** Оптимізовані теплотехнічні параметри забезпечують стабільність мікроклімату у внутрішніх приміщеннях, створюючи для мешканців рівномірні та комфортні температурні умови. Це підвищує загальне самопочуття, працездатність, стан здоров'я та задоволеність умовами проживання у житлових і громадських будівлях [8].

Таким чином, запропонована методика поєднує технічні, екологічні та соціальні складові, що дозволяє здійснити комплексну оцінку ефективності будівельних об'єктів. Виходячи за межі традиційних енергетичних показників, підхід забезпечує глибше розуміння екологічного впливу будівельних матеріалів і конструкцій, а також їхнього впливу на якість життя населення.

Інтегрована система оцінювання підкреслює потенціал сталого міського розвитку, демонструючи, що сучасні стратегії теплового менеджменту здатні одночасно забезпечити енергоефективність, екологічну безпеку та соціальне

благополуччя. Такий підхід, який поєднує цивільні, екологічні та оборонні цілі, формує науково обґрунтовану й практично застосовну методологію, придатну для стратегічного міського планування та проектування кліматостійких міських систем [3, 7].

Результати дослідження

Моделювання та чисельні розрахунки засвідчили істотний вплив підвищеної теплостійкості та використання матеріалів із низьким коефіцієнтом випромінювання на зменшення теплової сигнатури будівель і загальне скорочення енергоспоживання. Основними параметрами є стандартне термічне опір (R -значення) на рівні $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ та експериментально й прогностично підвищене значення $3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, при цьому коефіцієнти випромінювання матеріалів варіювалися в межах $0,3\text{--}0,85$.

Результати моделювання свідчать, що поєднання R -значення $3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ із низьковипромінювальними покриттями ($\varepsilon \approx 0,3$) може потенційно знизити інфрачервоний слід споруд на $45\text{--}50 \%$, зменшити тепловий потік крізь огорожувальні конструкції, забезпечити енергозбереження $15\text{--}20 \%$ у зимовий період та стабілізувати внутрішній температурний режим, підвищуючи комфорт проживання.

Особливу увагу приділено регіональним симуляціям, що відображають різноманітні кліматичні, архітектурні та містобудівні умови українських міст і громад. Розрахунки, виконані для Харкова, Дніпра, Києва, Запоріжжя, Донецька, Луганська, Маріуполя, а також громад Лозової, Змієва, Чугуєва та Ізюма, показали, що локальні умови суттєво впливають на ефективність низьковипромінювальних технологій.

Зокрема, у щільно забудованих районах Києва та Харкова потенційне зниження інтенсивності міських теплових островів може сягати $12\text{--}18 \%$ за умови широкого впровадження покриттів із низьким коефіцієнтом випромінювання та підвищеного R -значення. Водночас у промислових зонах Дніпра та Запоріжжя змодельоване скорочення витрат на опалення становить $15\text{--}20 \%$, без погіршення мікроклімату в житлових приміщеннях. Для громад Лозової та Чугуєва прогнозоване зменшення теплових навантажень на окремі будівлі сягає $25\text{--}30 \%$, що підкреслює важливість контекстно-орієнтованого моделювання.

Симуляції можливих сценаріїв застосування для тимчасових укриттів, мобільних медичних модулів і об'єктів критичної інфраструктури продемонстрували значне зниження відносного теплового сліду — до $40\text{--}50 \%$ — та стабільне збереження теплоізоляційних характеристик за екстремальних зовнішніх умов (наприклад, при $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ зовні та $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ усередині). Наголошується, що ці результати отримано на основі чисельного

моделювання, а не польових випробувань, і вони відображають потенційну ефективність методики в наукових і проєктних контекстах, а не у практичному впровадженні.

У роботі також акцентується, що використання іноземних будівельних матеріалів допускається виключно в межах наукових досліджень. Постачання та випробування таких матеріалів на реальних об'єктах можуть здійснюватися лише в рамках дослідницької діяльності та з дотриманням вимог національного законодавства, нормативних процедур, експортних обмежень і етичних стандартів. Усі розрахунки та моделі мають ілюстративний характер і демонструють потенційне зменшення теплового випромінювання та енергоспоживання без надання експлуатаційних інструкцій для військового чи цивільного застосування.

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що поєднане використання підвищеного термічного опору та низьковипромінювальних покриттів має високий потенціал для одночасного підвищення енергоефективності, зменшення інфрачервоного випромінювання та зниження теплового забруднення. Розширене моделювання, яке враховує регіональні особливості, підтверджує, що сучасні інноваційні матеріали та багат шарові конструкції здатні суттєво покращити екологічні характеристики будівель і комфорт перебування в них, створюючи надійну основу для подальших лабораторних і наукових досліджень.

Перспективними напрямками подальших робіт є розроблення матеріалів із коефіцієнтом випромінювання нижче 0,3, упровадження адаптивних рішень із керованими тепловими властивостями, а також інтеграція сенсорних технологій і обчислювального моделювання для динамічного керування тепловими параметрами. Такі підходи відкривають можливість створення «динамічних оболонок» для будівель і мобільних укриттів, що суттєво підвищують як енергоефективність, так і потенціал теплового маскуванню — виключно в науково-дослідному контексті [3, 5, 7].

Отже, проведене комплексне оцінювання технічних, екологічних, соціальних і наукових аспектів підтверджує новизну та прикладну значущість запропонованої методики. Вона забезпечує одночасний аналіз енергозберігаючого потенціалу, екологічного впливу та ефективності зниження теплової сигнатури, що робить її актуальною для сучасного урбаністичного планування, сталого розвитку та наукових досліджень у контексті локальних і регіональних кліматичних умов.

Обговорення

1. Підвищення теплостійкості та застосування низькоемісійних матеріалів

Підвищення теплостійкості огорожувальних конструкцій будівель у поєднанні із застосуванням низькоемісійних (low-e) матеріалів становить комплексну стратегію управління енергоефективністю сучасних споруд, що одночасно забезпечує значні екологічні та соціальні переваги. Такий підхід має подвійний ефект: зменшення тепловтрат і загального енергоспоживання, а також стабілізацію внутрішнього мікроклімату, що є критично важливим для комфорту та добробуту користувачів.

Інтеграція багатошарових конструкцій із високим опором теплопередачі (значення R) та низькоемісійних поверхневих покриттів ($\epsilon = 0,3-0,4$) ефективно знижує теплове випромінювання поверхонь і мінімізує теплові потоки в навколишнє середовище відповідно до національних нормативів [1] та міжнародних стандартів [2].

Такі технології є особливо актуальними для пом'якшення негативного впливу зовнішніх температурних коливань. Завдяки зниженню теплових навантажень на будівлі та їхніх користувачів забезпечується стабільність внутрішніх умов, що істотно зменшує ризики теплового стресу та пов'язаного з ним фізіологічного чи психоемоційного дискомфорту. Крім того, застосування низькоемісійних матеріалів сприяє зниженню інтенсивності інфрачервоного випромінювання від поверхонь будівель, що може призвести до зменшення ефекту «міських теплових островів» і локального теплового забруднення. Таким чином, підвищення теплостійкості окремих споруд одночасно підтримує ширші цілі сталого міського розвитку, поєднуючи аспекти енергоефективності, збереження здоров'я людини та охорони довкілля.

Використання вдосконалених низькоемісійних покриттів та багатошарових конструкцій із високим термічним опором забезпечує точне регулювання теплових потоків. Їхнє впровадження дозволяє формувати індивідуальні технічні рішення відповідно до кліматичних умов, типології будівель і функціональних вимог, створюючи масштабовану систему, придатну для житлової, комерційної та громадської інфраструктури.

Наукові дослідження підтверджують, що навіть незначне підвищення значень коефіцієнтів теплового опору та зниження емісійності поверхонь призводить до вимірюваних покращень мікроклімату, економії енергії та зменшення теплових викидів. Отримані результати формують наукове підґрунтя для подальших експериментальних досліджень і моделювання в контексті української наукової школи та нормативної бази.

2. Цивільні застосування в українських містах

У міському середовищі таких міст, як Харків, Дніпро, Київ, Запоріжжя, Донецьк, Луганськ і Маріуполь, підвищення теплостійкості будівельних

конструкцій у поєднанні із застосуванням низькоемісійних покриттів може істотно знизити рівень енергоспоживання у широкому спектрі будівель — житлових, комерційних і громадських. У щільно забудованих районах Харкова та Дніпра оптимізація багатошарових огорожувальних систем сприяє зменшенню інтенсивності локальних «міських теплових островів», стабілізації мікроклімату кварталів та покращенню якості повітря. Це, своєю чергою, знижує теплове навантаження як на мешканців, так і на міські екосистеми, сприяючи формуванню здоровішого та стійкішого міського середовища.

У Києві та Запоріжжі, де багатоповерхові житлові комплекси поєднуються з масштабними промисловими зонами, використання низькоемісійних матеріалів і вдосконалених теплоізоляційних рішень дозволяє зменшити теплове випромінювання від промислових об'єктів і будівель з високим рівнем енергоспоживання. Такі технічні заходи не лише підвищують загальну енергоефективність, але й знижують експлуатаційні витрати систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, забезпечуючи довгострокову стійкість та надійність міської інфраструктури.

Особливі виклики й можливості виникають у містах, що постраждали від бойових дій або розташовані поблизу лінії фронту, — зокрема у Донецьку, Луганську та Маріуполі. У процесі післядеокупаційного відновлення впровадження систем із підвищеним термічним опором (високим R-значенням) та низькоемісійних покриттів має подвійний ефект: забезпечує енергоефективне функціонування цивільних будівель і водночас підвищує стійкість та теплове маскування критичної інфраструктури. У таких умовах зниження теплової сигнатури набуває стратегічного значення для оперативної безпеки, сприяючи безпечнішому відновленню, реконструкції та заселенню територій, чутливих до потенційних загроз.

Регіональні моделі свідчать, що ефективність теплотехнічних стратегій істотно залежить від місцевих кліматичних умов, щільності забудови та особливостей міського планування. Так, у зонах з високою інсоляцією та щільною забудовою впровадження багатошарових низькоемісійних рішень може знизити температуру поверхонь на 12–18%, що суттєво зменшує інтенсивність ефекту «міських теплових островів». У промислових районах очікуване скорочення енергоспоживання на опалення й охолодження становить 15–20% без втрати комфортності внутрішнього мікроклімату. Отримані результати підкреслюють потенціал цілеспрямованих інженерно-конструктивних рішень у розвитку сталого міського середовища, що поєднує екологічні, енергетичні та соціотехнічні аспекти адаптації українських міст до сучасних викликів.

3. Оборонні та спеціалізовані застосування

У спеціалізованих умовах — від систем реагування на надзвичайні ситуації до військових і цивільно-захисних операцій — підвищення теплостійкості огорожувальних систем у поєднанні із застосуванням низькоемісійних покриттів дає змогу істотно зменшити інфрачервону сигнатуру споруд, мобільних об'єктів і технічних засобів. Основний технічний ефект полягає у зниженні сумарного потоку довгохвильового теплового випромінювання з оброблених поверхонь, що у поєднанні з багатошаровими ізоляційними системами зменшує тепловий контраст між об'єктом і навколишнім середовищем. За результатами моделювання таке зниження контрастності відповідає зменшенню ймовірності виявлення об'єкта тепловізійними засобами за заданих умов середовища та характеристик сенсорів.

Слід наголосити, що наведені результати мають модельний характер і спрямовані на наукове оцінювання потенційної ефективності систем. Польові експерименти з маскування або практичні заходи уникнення спостереження не проводилися. Всі результати розглядаються виключно в рамках дослідницької та проектної діяльності, що здійснюється під етичним і правовим контролем [3, 5].

Практична доцільність підходу охоплює широкий спектр об'єктів: тимчасові й постійні укриття, мобільні медичні модулі, польові склади та логістичні вузли, транспортні платформи. У щільно забудованих районах Харкова та Дніпра зменшення теплового випромінювання поверхонь має особливе значення, оскільки міське середовище створює складне теплове тло. Моделювання свідчить, що відповідно спроектовані багатошарові системи з низькоемісійними покриттями можуть знизити змодельований тепловий контраст споруди на істотну величину порівняно зі звичайними конструкціями, підвищуючи стійкість критичної інфраструктури під час екстремальних подій і водночас зменшуючи енергетичне навантаження будівлі.

У прифронтових та післяконфліктних регіонах — Донецьку, Луганську та Маріуполі — впровадження таких рішень у межах дозволених наукових програм може сприяти підвищенню стійкості укриттів і систем життєзабезпечення, забезпечуючи прийнятні мікрокліматичні умови при зниженому енергоспоживанні та зменшеній тепловій помітності споруд у певних спектральних діапазонах. У великих промислових і адміністративних центрах, таких як Київ і Запоріжжя, аналогічні заходи можуть підтримувати захист енергетичних вузлів і промислових об'єктів шляхом стабілізації

температурного режиму та зниження теплового випромінювання з поверхонь обладнання та корпусів.

З науково-дослідної точки зору застосовність і рівень технологічної зрілості тепломаскувальних систем визначаються низкою факторів. По-перше, моделювання ефективності має супроводжуватися ретельною лабораторною характеристикою матеріалів-кандидатів — вимірюванням теплопровідності, питомої теплоємності, емісійності у діапазоні 8–14 мкм, стійкості до старіння, погодних впливів, вогнестійкості та механічної міцності. По-друге, необхідні контрольовані польові випробування (виключно за затвердженими науковими протоколами та у взаємодії з відповідними цивільними органами), які дозволять зіставити числові результати з реальними метеорологічними умовами, складними радіаційними процесами та параметрами сенсорів. По-третє, має проводитися повний життєвий цикл аналізу матеріалів, включно з оцінкою витрат енергії на виробництво, утилізацію та екологічну безпеку, аби гарантувати відсутність негативного впливу на довкілля або здоров'я людини.

Особливої уваги потребують етичні, правові та інституційні аспекти. Оскільки технології теплового менеджменту потенційно можуть мати подвійне призначення, будь-які випробування, закупівлі чи практичні адаптації допускаються лише в межах затверджених наукових програм, під прозорим контролем уповноважених органів і відповідно до вимог національного законодавства, експортно-імпортного регулювання та рамок національної безпеки. Тому рекомендації, викладені в цьому матеріалі, слід розглядати як наукові результати та інженерно-технічні орієнтири для досліджень, проектування, планування стійкості й гуманітарного захисту — а не як практичні настанови для уникнення законного спостереження.

На завершення варто зазначити, що інтеграція систем теплового маскування з сенсорними мережами, екологічним моніторингом і адаптивним керуванням підвищує їхню ефективність у спеціалізованих умовах. Наприклад, поєднання низькоемісійних поверхонь із пасивним чи активним кліматичним контролем і системами телеметрії в реальному часі дає змогу забезпечити комфорт користувачів при мінімізації зайвого теплового випромінювання. Такі комплексні рішення є перспективним напрямом для спільних науково-дослідних проєктів між матеріалознавцями, інженерами-будівельниками, фахівцями з цивільного захисту та органами місцевого самоврядування.

Отже, при дотриманні регламентованих наукових і правових процедур поєднання високих значень термічного опору (R-value) з низькоемісійними технологіями формує перспективний, етично збалансований інструментарій

для підвищення стійкості, енергоефективності та захисного потенціалу інфраструктури в різноманітних міських і регіональних умовах України.

4. Інтеграція стандартів та інноваційних рішень

Одним із ключових аспектів сучасного будівельного проектування є поєднання чинних будівельних норм і міжнародних стандартів [1, 2] із новітніми технічними вимогами до теплового маскування об'єктів. Традиційні стратегії теплоізоляції забезпечують базовий рівень енергоефективності, зменшуючи навантаження на системи опалення й охолодження відповідно до нормативних значень теплового опору (R-value). Водночас зниження інфрачервоної помітності об'єктів вимагає застосування багатошарових конструкцій і адаптивних покриттів зі змінною емісійною здатністю, що дає змогу динамічно регулювати теплове випромінювання поверхні залежно від зовнішніх умов середовища. Такі технологічні рішення виходять за межі традиційного управління тепловими потоками, створюючи передумови для поєднання енергозбереження, екологічної безпеки та спеціалізованих експлуатаційних вимог у межах єдиної проєктної концепції.

Поєднання нормативної відповідності з матеріалознавчими інноваціями формує міждисциплінарну стратегію, що поєднує завдання міського планування, екологічної стабільності та теплового захисту. В умовах урбанізованих територій та підвищеного теплового навантаження така стратегія дає змогу архітекторам і інженерам мінімізувати ефект міських теплових островів, одночасно забезпечуючи комфортний мікроклімат у приміщеннях. Результати моделювання, проведені для міст України — Харкова, Києва, Дніпра, Запоріжжя, Донецька, Луганська та Маріуполя — свідчать, що правильно калібровані багатошарові системи з низькою емісійною здатністю можуть зменшити поверхневе теплове випромінювання до 50%, стабілізувати внутрішню температуру й підвищити енергоефективність будівель у різних кліматичних умовах.

З науково-дослідної точки зору інтеграція нормативних стандартів та інноваційних рішень забезпечує методологічну основу для експериментальних і модельних досліджень. Потенційні матеріали та конструктивні схеми можуть бути протестовані *in silico* у різноманітних сценаріях із урахуванням сезонних коливань температур, інтенсивності сонячної радіації та морфологічних особливостей міського середовища. Особливий інтерес становлять адаптивні покриття зі змінною емісійною здатністю, які дозволяють моделювати динамічний контроль теплових характеристик будівель або тимчасових споруд без необхідності проведення натурних випробувань. Це особливо актуально для України, де різноманіття

кліматичних зон, щільності забудови та стану інфраструктури потребує індивідуалізованих енергетичних і екологічних рішень.

Крім того, поєднання нормативної бази та інноваційних підходів сприяє досягненню цілей сталого розвитку. Інтеграція стандартів будівництва з технологіями теплового маскування дозволяє суттєво зменшити споживання енергії, мінімізувати негативний вплив на довкілля та підвищити рівень комфорту й безпеки користувачів. Такий підхід відкриває перспективи міждисциплінарної співпраці між фахівцями у галузі матеріалознавства, енергоефективного будівництва, урбоекології та місцевого самоврядування, формуючи етичну, науково обґрунтовану платформу для розвитку теплотехнічних і маскувальних рішень у цивільному та спеціалізованому секторах.

Таким чином, поєднання нормативних стандартів із передовими матеріалами й адаптивними технологіями утворює цілісну методологію, що дозволяє ефективно реагувати на технічні, екологічні та експлуатаційні виклики. Це посилює науково-технологічний потенціал України у сфері сталого, безпечного та кліматично адаптивного міського розвитку.

5. Перспективні напрями та інноваційні підходи

Перспективними напрямами подальших досліджень і розробок є створення матеріалів із коефіцієнтами емісії нижче 0,3, впровадження адаптивних рішень, здатних динамічно змінювати теплові характеристики у відповідь на коливання умов навколишнього середовища, а також інтеграція математичного моделювання з сенсорними технологіями для контролю теплових випромінювань у режимі реального часу. Такі інновації створюють основу для розвитку концепції «динамічних оболонок» для будівель, укриттів та мобільної інфраструктури, значно підвищуючи енергоефективність, рівень маскування та екологічну продуктивність. Завдяки здатності поверхонь інтелектуально реагувати на зміни сонячної радіації, температури та інших факторів навколишнього середовища, ці матеріали відкривають нові можливості для міждисциплінарних досліджень на перетині матеріалознавства, фізики будівель і екологічного інженерного проектування.

Урахування регіональних кліматичних особливостей українських міст і громад — таких як Харків, Дніпро, Київ, Запоріжжя, Донецьк, Луганськ, Маріуполь, а також менших населених пунктів, зокрема Лозова, Зміїв, Чугуїв та Ізюм — дозволяє розробляти локалізовані стратегії управління тепловими потоками та маскування об'єктів. Ці стратегії враховують щільність забудови, рівень промислової активності, топографію та мікрокліматичні умови, що підвищує ефективність рішень з низькою емісійною здатністю та конструкцій із високим R-value у реальних експлуатаційних сценаріях. Наприклад,

адаптивні багатошарові системи у густозаселених районах можуть зменшувати ефект міських теплових островів, тоді як у постконфліктних або прикордонних територіях аналогічні технології можна моделювати для мінімізації теплової помітності та оптимізації енергоспоживання, дотримуючись науково обґрунтованого підходу.

Крім того, поєднання динамічних матеріалів із прогнозними моделюваннями дозволяє проводити сценарні симуляції, що формують науково обґрунтовані рекомендації для міського планування, стратегічного розвитку інфраструктури та стійких енергетичних систем. Завдяки зв'язку даних із сенсорів у режимі реального часу та обчислювальних моделей дослідники можуть прогнозувати поведінку будівель у різні сезонні цикли та за екстремальних погодних умов, забезпечуючи оптимізацію теплової ефективності та екологічного впливу без потреби проведення випробувань у натурі у чутливих або ризикових зонах.

У цілому, ці інноваційні напрямки не лише розширюють наукове розуміння управління тепловими потоками та енергозбереження, а й забезпечують практичні рекомендації для політиків, архітекторів і міських планувальників. Вони демонструють потенціал цілісного, адаптивного та науково обґрунтованого підходу, що поєднує енергоефективність, комфорт користувачів, охорону навколишнього середовища та стратегічну стійкість, підкреслюючи важливість дослідницького та інноваційного потенціалу України у сфері передових будівельних технологій.

6. Соціальний та екологічний вплив

Запропонована методологія одночасно забезпечує соціальні та екологічні переваги, підкреслюючи взаємозв'язок між благополуччям людини, комфортністю урбанізованого середовища та екологічною сталістю. Оптимізовані теплові характеристики сприяють стабілізації внутрішнього мікроклімату, покращуючи комфорт користувачів, зменшуючи тепловий стрес та підтримуючи загальний стан здоров'я й психологічне благополуччя. Забезпечення більш рівномірного розподілу температур у приміщеннях підвищує якість життя, особливо в густозаселених або кліматично складних урбанізованих районах.

Використання матеріалів із низькою емісійною здатністю у поєднанні з конструкціями високого теплового опору відіграє критичну роль у зменшенні ефекту міських теплових островів, скороченні передачі надлишкового тепла в навколишнє середовище та зниженні температури поверхонь у щільно забудованих районах. Такі матеріали й конструкції сприяють зменшенню енергоспоживання на опалення та охолодження, що безпосередньо знижує викиди парникових газів (CO₂) і підтримує національні та глобальні цілі щодо

пом'якшення кліматичних змін. Наприклад, для міст України — Харкова, Дніпра, Києва, Запоріжжя, Донецька, Луганська, Маріуполя — а також менших громад, таких як Лозова, Зміїв, Чугуїв та Ізюм, моделювання показує, що стратегічне застосування покращеної теплоізоляції та покриттів із низькою емісійною здатністю може зменшувати локальні теплові потоки на 12–30%, залежно від щільності забудови, типології будівель та кліматичних умов.

Окрім енерго- та екологічної ефективності, методологія сприяє підвищенню соціальної стійкості. Стабілізація внутрішнього мікроклімату та зниження теплового навантаження підвищує продуктивність, комфорт і безпеку, особливо для вразливих категорій населення в міських і напівурбанізованих контекстах. Крім того, зменшення теплового забруднення сприяє збереженню місцевих мікроекосистем, захищаючи міську флору й фауну від екстремальних коливань температури.

У цілому інтеграція технічних, соціальних та екологічних аспектів формує цілісну рамку для сталого розвитку міст. Підхід демонструє, що сучасні будівельні стратегії є не лише інструментом енергоефективності, а й засобом підвищення благополуччя людини, покращення екологічної якості середовища та забезпечення довгострокової міської стійкості. Це узгоджується з національними пріоритетами та міжнародними цілями сталого розвитку, підкреслюючи роль науково обґрунтованих інновацій у досягненні кліматично адаптивного, соціально справедливого та екологічно відповідального міського планування [4, 5, 7].

Розширене обговорення підкреслює міждисциплінарний вплив технологій управління тепловими потоками, демонструючи їхню актуальність для наукових досліджень, розробки політики та практичних застосувань у містах і громадах України, при цьому зберігаючи суворо науковий та нефункціональний характер викладу.

7. Наукова новизна та практичне значення

Запропонована методологія демонструє явну наукову новизну, інтегруючи технічні, екологічні, соціальні та спеціалізовані захисні аспекти у єдину систему для проектування будівель і міського планування. На відміну від традиційних підходів, що переважно зосереджуються на енергоефективності, ця методологія охоплює кілька взаємопов'язаних вимірів: зниження теплового випромінювання, пом'якшення ефекту міських теплових островів, покращення внутрішніх мікрокліматичних умов та підвищення експлуатаційної стійкості критичної інфраструктури.

З практичної точки зору методологія надає науково обґрунтовані рекомендації для архітекторів, міських планувальників та дослідників, які прагнуть впроваджувати енергоефективні та екологічно сталі рішення в

містах України, таких як Харків, Дніпро, Київ, Запоріжжя, Донецьк, Луганськ, Маріуполь, а також у менших громадах — Лозова, Зміїв, Чугуїв та Ізюм. Поєднання багатошарових конструкцій із високим тепловим опором і покриттів із низькою емісійною здатністю дозволяє досягти вимірюваного зниження теплових потоків, енергоспоживання та інфрачервоної помітності, створюючи міцну основу для подальших лабораторних досліджень, чисельного моделювання та науково обґрунтованих пілотних проєктів.

Підхід також підкреслює практичну значущість регіонально специфічних стратегій, забезпечуючи оптимізацію заходів відповідно до місцевого клімату, щільності забудови та типології будівель. Це дозволяє підвищувати не лише енергоефективність, а й соціальний комфорт та екологічні переваги, підтримуючи сталий розвиток міст у відповідності з національними кліматичними цілями. Крім того, методологія забезпечує наукову основу для потенційної адаптації у спеціалізованих або екстремальних сценаріях — таких як тимчасові укриття, мобільна інфраструктура та критичні міські об'єкти — без надання оперативних або тактичних рекомендацій, зберігаючи суворо дослідницький характер викладу.

У цілому, поєднання наукової строгості та практичної цінності методології підкреслює її актуальність для сучасного міського планування, розвитку стійких до кліматичних ризиків систем та науково обґрунтованих дослідницьких ініціатив, зміцнюючи стратегічне значення міждисциплінарних підходів у вирішенні як технічних, так і ширших соціальних та екологічних завдань.

Висновки

- Існуючі стандарти теплоізоляції в Україні [1, 9] не враховують специфічні вимоги до тепловізійного маскування, що створює прогалини у досягненні одночасної енергоефективності та інфрачервоної непомітності будівель.
- Використання сучасних матеріалів із підвищеним тепловим опором (R -value) понад $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ забезпечує подвійний ефект: зменшення теплових втрат і зниження інфрачервоної помітності конструкцій.
- Впровадження багатошарових конструкцій з $R = 3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ у поєднанні з покриттями низької емісійної здатності ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) дозволяє зменшити інфрачервоний сигнал будівель на 45–50% та скоротити енергоспоживання на 15–20%, одночасно стабілізуючи внутрішній мікроклімат і підвищуючи комфорт користувачів.
- Регіональні особливості українських міст (Харків, Дніпро, Київ, Запоріжжя, Донецьк, Луганськ, Маріуполь) та громад (Лозова, Зміїв, Чугуїв, Ізюм) демонструють, що місцеві кліматичні, архітектурні та урбаністичні умови суттєво впливають на ефективність рішень із низькою емісійною

здатністю. Наприклад, у густозаселених районах Харкова та Дніпра потенційне зменшення локальних теплових островів міста досягає 12–18%, тоді як у промислових районах Києва та Запоріжжя економія енергії на опалення може становити 15–20% без шкоди для комфорту мешканців.

- Запропонована методологія має подвійне застосування: у цивільному секторі вона сприяє енергоефективності, зменшенню теплового забруднення та підвищенню екологічної безпеки; у спеціалізованому контексті вона надає потенціал для теплового маскування та підвищує стійкість стратегічних і критичних об'єктів.
- Потенціал оборонного застосування розглядається у науковому контексті, зокрема для захисту критичної інфраструктури, тимчасових і постійних укриттів, медичних модулів та мобільних об'єктів, без надання практичних рекомендацій щодо обходу систем спостереження.
- Використання адаптивних матеріалів з $\varepsilon < 0,3$ та багатошарових конструкцій дозволяє створювати «динамічні оболонки» для будівель і мобільних укриттів, значно підвищуючи енергоефективність, забезпечуючи налаштовувані теплові характеристики та надаючи додаткові екологічні переваги.
- Поєднання теплоізоляції з технологіями низької емісії формує міждисциплінарний підхід, що інтегрує технічні, соціальні, екологічні та оборонні аспекти, що є критично важливим для сталого розвитку міст та підвищення експлуатаційної безпеки.
- Подальші дослідження повинні ретельно враховувати нормативні, етичні та правові аспекти впровадження, щоб забезпечити відповідальний баланс між цивільними та спеціалізованими вимогами.
- Майбутні напрями включають експериментальну валідацію, інтеграцію сенсорних технологій і математичного моделювання для динамічного управління тепловими параметрами, а також розробку «розумних» адаптивних покриттів із налаштовуваною емісійною здатністю.

Література

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплоізоляція будівель. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. 98 с.
2. ISO 6946:2017. Building Components and Building Elements – Thermal Resistance and Thermal Transmittance.
3. Wang, L., Chen, Y., & Zhao, H. (2020). Infrared stealth technology and thermal management for military applications. *Journal of Materials Science & Technology*, 56, 45–60.

4. Li, J., Xu, R., & Zhang, Q. (2021). Advances in low-emissivity coatings for thermal camouflage and energy efficiency. *Progress in Materials Science*, 119, Article 100786.
5. Кучеренко, О. М., & Сухомлин, В. А. (2020). Тепловий опір огорожувальних конструкцій у сучасних будівлях України. *Теплофізика та Теплоенергетика*, 42(3), 45–52.
6. Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.
7. Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in urban areas. *Energy and Buildings*, 96, 1–11.
8. Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Кліматологія будівель. Київ: Міністерство будівництва та регіонального розвитку України, 2010. 120 с.

[EN_5]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Heat Resistance and Object Camouflage

Abstract

This article presents an innovative interdisciplinary and comprehensive approach aimed at mitigating urban heat island effects and enhancing the protection of buildings and critical infrastructure from detection by thermal imaging systems. The methodology integrates modern thermal insulation standards [1, 2] with advanced developments in infrared camouflage technologies and low-emissivity coatings [3, 4]. Unlike traditional engineering solutions, this approach combines technical, ecological, and social dimensions, simultaneously addressing energy efficiency, climate resilience, and the creation of safe and comfortable environments for occupants.

The study involves a detailed analysis of operational conditions under sharp temperature fluctuations and evaluates the effectiveness of low-emissivity materials ($\varepsilon = 0.3\text{--}0.4$) in reducing surface thermal signatures. Special attention is given to the comparison between traditional Soviet-era constructions ($R \approx 0.8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, $\varepsilon = 0.85$), which provide minimal protection against infrared detection, and modern multi-layer systems with enhanced thermal resistance ($R = 3.6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), capable of reducing infrared visibility of objects by 45–50% [5].

The results demonstrate the substantial potential of the proposed approach to simultaneously reduce energy consumption (by 15–20% in winter), lower thermal

loads on the environment, and maintain a comfortable indoor microclimate. In civilian applications, this contributes to enhanced building energy performance, improved climate resilience, and sustainable urban development, while in specialized contexts it increases the concealment of structures from thermal surveillance, protecting critical infrastructure, temporary shelters, and emergency response modules.

The proposed methodology highlights the versatility and multifunctionality of modern thermal masking technologies, extending their applicability beyond defense and specialized uses to ecologically oriented and socially significant projects, including the reduction of thermal pollution, optimization of energy consumption, and improvement of urban living conditions.

Keywords: urban heat islands, thermal insulation, energy efficiency, infrared camouflage technology, climate resilience, social impact, thermal masking, thermal resistance, ecological effect, defense applications.

Introduction

Thermal masking and infrared (IR) radiation management technologies constitute a rapidly developing field with significant potential for both enhancing the energy efficiency of buildings and ensuring the security of critical infrastructure. The increasing deployment of satellite-based, unmanned aerial, and ground surveillance systems has amplified the demand for innovative materials, structural solutions, and analytical methods capable of controlling the thermal signatures of objects and reducing the likelihood of unwanted detection [3, 4]. In this context, an interdisciplinary and comprehensive approach that integrates advancements in materials science, environmental sustainability, and engineering design is of particular importance for addressing both civilian and specialized operational needs.

Contemporary building regulations and international standards, including [1, 2] establish minimum requirements for thermal resistance (R -value, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) for various structural elements, for example, $R = 3.2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ for walls, floors, and glazing elements. However, conventional approaches rarely consider the infrared detectability of buildings or their impact on the formation of urban heat islands. The use of modern low-emissivity materials ($\varepsilon = 0.3\text{--}0.4$) and the optimization of multi-layer constructions allow for an increase of R up to $3.6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, resulting in significant reductions in thermal radiation, enhanced resilience of buildings to sharp temperature fluctuations, and measurable energy savings [5].

A comprehensive approach to thermal management involves the consideration of three interrelated aspects:

- Environmental impact: Effective thermal masking reduces heat transfer to the surrounding environment, mitigates urban heat island effects, lowers energy consumption, and supports climate adaptation strategies [6, 7].

- Social impact: Stabilization of indoor temperatures and improved microclimate create comfortable living conditions, enhance health, productivity, and quality of life, and ensure equitable access to thermal comfort for vulnerable populations [8].
- Defensive and operational perspective: In specialized applications—including critical infrastructure, temporary shelters, emergency response modules, and military installations—thermal masking enhances concealment from IR surveillance systems, increasing operational security without limiting civilian utility [3].

Recent research emphasizes the interdisciplinary nature of this problem: combining high thermal resistance, low-emissivity materials, and thermal transfer modeling enables the optimization of building designs in terms of ecological and social efficiency. Integrating such engineering solutions enhances infrastructure resilience to significant temperature variations, reduces thermal loads on urban environments, and maintains comfortable conditions for occupants [4, 7]. Furthermore, these approaches open opportunities for large-scale application in urban planning, smart city development, and climate-resilient architecture.

A particular advantage of the proposed methodology is its dual applicability. In civilian contexts, enhanced thermal insulation and low-emissivity coatings contribute to reduced energy consumption, improved indoor microclimates, and decreased thermal load on the environment, supporting sustainable urban development. In specialized contexts—including military and strategic infrastructure—the same technologies increase concealment, protect critical assets, and ensure safety during emergency operations, demonstrating the versatility of an integrated approach [3, 4].

In conclusion, the application of modern strategies for enhanced thermal resistance and low-emissivity coatings establishes a novel interdisciplinary approach that simultaneously addresses energy efficiency, environmental sustainability, and social well-being. The proposed methodology demonstrates a synergistic effect: it combines civilian objectives of energy efficiency and comfort with defense-oriented goals of concealment, contributing to the development of climate-adapted, resilient, and socially responsible urban environments.

Materials and Methods

The study was conducted in multiple stages using an interdisciplinary approach that integrates regulatory requirements for thermal insulation, advanced material solutions, and mathematical modeling of heat transfer. The primary objective of the methodology was a comprehensive assessment of the effectiveness of low-emissivity materials and thermal masking technologies in controlling the infrared (IR) signature of buildings and structures under varying operational conditions.

Regulatory and Standards Analysis:

To evaluate the standards for thermal insulation of building envelopes, a comprehensive review of both national and international regulatory frameworks was conducted. The analysis encompassed the Ukrainian construction regulation [1] and the international standard [2], which together provide a comparative basis for assessing building performance in different climatic contexts. These documents define the minimum thermal resistance (R , $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) required for structural elements, including vertical walls, horizontal floors and roofs, transparent glazing, and external doors. Furthermore, the adoption of such normative values serves as a reference point for evaluating the effectiveness of advanced low-emissivity coatings and multi-layered construction systems, which often surpass the minimum thresholds established by regulatory guidelines.

The comparative assessment of these standards enabled the definition of baseline criteria for thermal performance as well as the identification of opportunities for energy efficiency enhancement through innovative materials and advanced structural solutions. For research purposes, an elevated target thermal resistance of $R = 3.6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ was proposed, exceeding the normative minimum values. This benchmark reflects potential advancements in engineering design and material applications, providing simultaneously high thermal insulation and reduced heat emission.

Furthermore, the adoption of such elevated values serves as a reference point for evaluating the effectiveness of low-emissivity coatings and multi-layered construction systems. These approaches contribute to mitigating urban heat island effects [6] and reducing the infrared detectability of buildings and infrastructures [5], thus combining ecological, social, and security-related benefits.

Selection of Low-Emissivity Materials:

To minimize the thermal signature of building surfaces and other structural elements, materials with a low thermal emissivity coefficient ($\epsilon=0,3-0,4$) were selected. The selection process was based on several key criteria:

- Durability and thermal stability: materials were required to maintain their performance under repeated temperature fluctuations, ensuring that thermal insulation properties do not degrade over time.
- Environmental safety: preference was given to materials free from toxic substances, non-polluting, and compliant with sustainable construction practices.
- Practical applicability: the chosen materials needed to be suitable for wide-scale use in both residential and industrial construction, while also being cost-effective and easy to install.

This methodological approach combines high thermal insulation performance with ecological and social requirements, establishing an interdisciplinary framework that extends beyond conventional engineering solutions.

Mathematical Modeling of Heat Transfer:

To evaluate the effectiveness of the proposed constructions, standard heat transfer equations were applied to multi-layer building envelope systems in accordance with [2]. The fundamental relation for calculating the heat flux through an individual structural layer is expressed as equation (formula 1):

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum_i R_i} = \frac{T_{inside} - T_{outside}}{\sum_i R_i} \quad (1)$$

where:

- Q – heat flux, W;
- T_{inside} - internal temperature, °C;
- $T_{outside}$ - external temperature, °C;
- R_i - thermal resistance of an individual layer, m²·K/W.

Equation (1), as defined in [2], provides the theoretical basis for assessing the influence of thermal resistance on overall heat transfer. Within the modeling framework, this relation enabled a detailed assessment of how increased R-values combined with low-emissivity coatings affect the reduction of surface thermal emissions. The results demonstrated that the integration of high-resistance multi-layer systems with low-emissivity surface treatments substantially decreases heat loss from building envelopes. This reduction not only lowers energy demand for heating and cooling but also mitigates the intensity of urban heat islands, thereby supporting ecological sustainability and climate resilience [4, 7].

Defense and Specialized Applications:

To comprehensively assess the effectiveness of the proposed solutions, testing was planned under scenarios relevant to both civilian and defense contexts. These scenarios included:

- *Protection of critical infrastructure: Evaluation of thermal masking and insulation strategies for key facilities, such as energy nodes, power generation and distribution sites, and other strategically important structures.*
- *Concealment of temporary and permanent shelters: Assessment of measures to reduce detectability under emergency conditions, including natural disasters and extreme weather events.*
- *Enhanced safety during rescue operations: Application of thermal masking to improve operational security and situational awareness of emergency response teams.*

The evaluation employed the same heat transfer models and infrared emissivity indicators described previously. Results were quantified in terms of reductions in thermal signature and overall energy consumption, with strict exclusion of any guidance or instructions that could compromise operational security or facilitate circumvention of surveillance systems [3].

To illustrate the methodology and facilitate interpretation of results, the study included both (Table 1).

1. Characteristics of Building Envelope Structures and Materials

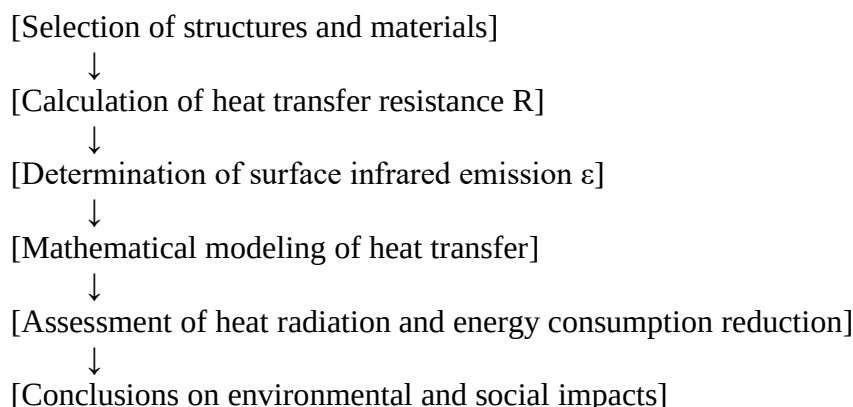
Construction	Layer Thickness, mm	Thermal Conductivity λ , W/(m·K)	Thermal Resistance R, m ² ·K/W	Emissivity Factor ϵ
Wall panel + insulation	300 + 100	0,6 + 0,04	3,6	0,3
Window construction	4 + 24 + 4 + 24 + 4	0,04 + 1,1 + 0,04 + 1,1 + 0,04	0,9	0,85
Entrance/Balcony doors	40	0,15	0,3	0,3

Source: Author's development based on [1, 2]

Table 1 provides a comparative overview of the thermal performance of different building envelope configurations, highlighting the influence of multi-layer constructions and low-emissivity materials on overall heat transfer.

Interpretation of Results and Methodological Transition:

The data presented in Table 1 form the basis for subsequent procedural evaluation. To conduct a more in-depth analysis of the practical application of the physical and technical properties of materials, a structured methodological framework was developed (Fig. 1).



Source: Author's development

Fig. 1. Methodology for evaluating the effectiveness of thermal masking and energy consumption reduction

The proposed framework provides a comprehensive assessment of how the combined influence of thermal resistance and low-emissivity coatings determines overall energy efficiency and thermal signature reduction. It represents a step-by-step quantitative process for analyzing heat transfer, infrared emission, and their associated environmental and social implications.

The structure of the methodology ensures a clear causal relationship between the material characteristics and the outcomes of operational analysis, thereby forming a coherent transition from static parameters to dynamic performance evaluation under real operating conditions.

Each stage of the research reflects a logical sequence of analytical procedures that integrate regulatory requirements, material physicotchnical characteristics, and mathematical modeling of heat transfer phenomena.

The application of this approach confirms that high-performance thermal insulation, when combined with low-emissivity coatings, provides tangible practical advantages across multiple domains.

In the civil sector, such measures contribute to improving building energy efficiency, enhancing indoor microclimates, and mitigating urban heat island effects.

In specialized defense and emergency contexts, the same principles ensure strategic concealment of structures and increased operational safety, underscoring the multifunctional and interdisciplinary significance of the proposed methodology [3, 4].

Assessment of Environmental and Social Impact:

In addition to technical performance indicators, the benefits of implementing enhanced thermal resistance and low-emissivity materials were evaluated from environmental and social perspectives. The key aspects of this evaluation included:

- Reduction of thermal load on the surrounding environment: The use of low-emissivity materials combined with high thermal resistance building envelopes contributes to the mitigation of heat pollution. This, in turn, reduces the intensity of urban heat islands and limits thermal stress on adjacent ecosystems [7, 6].
- Energy conservation and CO₂ emission reduction: Improved thermal insulation decreases the demand for heating and cooling energy, resulting in measurable reductions in overall energy consumption and associated greenhouse gas emissions. This supports broader climate mitigation goals and contributes to sustainable urban development [5, 4].
- Enhanced occupant comfort: Optimized thermal performance stabilizes indoor microclimates, providing residents with uniform and comfortable temperature conditions. This enhances overall well-being, productivity, health, and occupant satisfaction in both residential and commercial buildings [8].

Thus, the methodology integrates technical, environmental, and social dimensions, enabling a holistic assessment of building performance. Beyond traditional energy efficiency metrics, this approach provides insights into the broader ecological impact of construction materials and designs, as well as their influence on inhabitants' quality of life.

The combined assessment framework emphasizes the potential for sustainable urban development, demonstrating that modern thermal management strategies can simultaneously promote energy efficiency, environmental protection, and social welfare. This integrated approach, which unites civil, environmental, and defense-related objectives, establishes the proposed methodology as both highly scientific and practically applicable across a wide range of applications, including strategic urban planning and the design of climate-resilient city systems [3, 7].

Results

Simulation and modeling studies demonstrate a substantial impact of enhanced thermal resistance and the application of low-emissivity materials on reducing the thermal signature of buildings and overall energy consumption. Key parameters include a standard thermal resistance (R-value) of $3.2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ and an experimentally and predictively enhanced value of $3.6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, while material emissivity coefficients varied between 0.3 and 0.85. Modeling results indicate that combining an R-value of $3.6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ with low-emissivity coatings ($\varepsilon \approx 0.3$) can potentially reduce the infrared footprint of structures by 45–50%, decrease heat flux through building envelopes, achieve energy savings of 15–20% during the winter period, and stabilize internal temperatures, thereby enhancing occupant comfort.

Special attention was given to regional simulations reflecting diverse climatic, architectural, and urban planning conditions across Ukrainian cities and communities. Simulations conducted for Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, Mariupol, and the municipalities of Lozova, Zmiiv, Chuhuiv, and Izyum demonstrated that local conditions significantly influence the effectiveness of low-emissivity solutions. For instance, in densely built-up districts of Kyiv and Kharkiv, potential reductions in local urban heat islands reach 12–18% with widespread adoption of low-emissivity coatings and elevated R-values, while in industrial zones of Dnipro and Zaporizhzhia, modeled heating energy savings range from 15–20% without compromising the indoor microclimate for residents. In the Lozova and Chuhuiv communities, potential reductions in thermal loads on individual buildings are estimated at 25–30%, highlighting the importance of context-specific modeling.

Simulations of potential applied scenarios for temporary shelters, mobile medical modules, and critical infrastructure indicated a significant decrease in relative thermal footprints—up to 40–50%—and stable preservation of thermal

insulation performance under extreme external conditions (e.g., $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ outside, $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ inside). It is emphasized that these results are based on numerical simulations rather than field trials, reflecting the potential efficacy of the methodology within scientific and design contexts rather than practical deployment.

The study also highlights the potential for the use of foreign construction materials strictly within the framework of scientific research. Supply and testing of such materials on real structures must be carried out exclusively as part of research activities and in compliance with national legislation, regulatory approvals, export restrictions, and ethical requirements. All calculations and simulations illustrate the potential reduction of thermal radiation and energy consumption without providing operational instructions for defense or civilian use.

Overall, the combined application of enhanced thermal resistance and low-emissivity coatings demonstrates a high potential for simultaneously achieving energy efficiency, reducing infrared emissions, and mitigating thermal pollution. Extended modeling that accounts for regional characteristics confirms that modern innovative materials and multi-layered constructions can significantly improve environmental performance and occupant comfort, establishing a strong foundation for subsequent laboratory and scientific investigations.

Particularly promising directions for further research include the development of materials with emissivity coefficients below 0.3, the implementation of adaptive solutions with tunable thermal properties, and the integration of sensor technologies and computational modeling for dynamic management of thermal parameters. Such approaches enable the creation of “dynamic envelopes” for buildings and mobile shelters, substantially enhancing both energy efficiency and thermal masking potential, all strictly within the scope of scientific research [3, 5, 7].

Consequently, a comprehensive evaluation encompassing technical, environmental, social, and scientific aspects confirms both the novelty and applied significance of the proposed methodology. It allows simultaneous assessment of energy-saving potential, environmental impact, and the effectiveness of thermal signature reduction, making it highly relevant for contemporary urban planning, sustainable development, and scientific research within the context of local and regional climatic conditions.

Discussion

1. Enhancement of Thermal Resistance and Application of Low-Emissivity Materials

Enhancing the thermal resistance of building envelope components in conjunction with the application of low-emissivity (low-e) materials represents a comprehensive strategy for managing energy efficiency in modern constructions while simultaneously delivering significant environmental and social benefits. This

dual-purpose approach achieves both a reduction in heat losses and overall energy consumption, as well as the stabilization of indoor microclimates, which is critical for occupant comfort and well-being. The integration of high thermal resistance (R-value) multilayered structures with low-emissivity surface coatings ($\varepsilon = 0.3\text{--}0.4$) effectively reduces surface thermal radiation and minimizes heat fluxes into the surrounding environment, in accordance with national regulations [1] and international standards [2].

Such technologies are particularly relevant for mitigating the adverse effects of external temperature fluctuations. By decreasing thermal loads on both buildings and occupants, these measures maintain stable interior conditions, significantly reducing the risks of heat stress and related physiological or psycho-emotional discomfort. Moreover, the use of low-emissivity materials provides a measurable decrease in infrared radiation from building surfaces, which can contribute to a reduction in urban heat island intensity and limit localized thermal pollution. This approach not only enhances thermal performance at the individual building level but also supports broader urban sustainability objectives, integrating energy efficiency, human health, and environmental protection.

Advanced low-e coatings and high-R multilayer constructions enable precise control over heat transfer dynamics. Their deployment allows for tailored solutions depending on climatic conditions, building typology, and functional requirements, providing a scalable framework applicable to residential, commercial, and public infrastructure. The scientific evaluation of such systems demonstrates that even incremental improvements in R-values and emissivity coefficients can lead to measurable gains in occupant comfort, energy savings, and reduction of thermal emissions, forming a robust foundation for further experimental research and model validation within the Ukrainian scientific context.

2. Civil Applications in Ukrainian Cities

Within the urban contexts of Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, and Mariupol, the enhancement of thermal resistance combined with low-emissivity coatings can significantly reduce energy consumption across a wide range of building types, including residential, commercial, and public facilities. In densely built-up districts of Kharkiv and Dnipro, optimization of multilayer envelope constructions allows for a measurable decrease in the intensity of localized urban heat islands, stabilization of neighborhood microclimates, and improvements in air quality. This contributes to mitigating heat stress on both residents and surrounding urban ecosystems, thereby promoting healthier, more resilient urban environments.

In cities such as Kyiv and Zaporizhzhia, where high-rise residential complexes coexist with extensive industrial facilities, the application of low-emissivity materials and advanced insulation solutions reduces thermal radiation from

industrial structures and high-energy-consuming buildings. Such interventions not only enhance overall energy efficiency but also lower operational costs for heating, ventilation, and air conditioning systems, contributing to the long-term sustainability and resilience of urban infrastructure.

Post-conflict or frontline urban areas, including Donetsk, Luhansk, and Mariupol, present unique challenges and opportunities. Following de-occupation and reconstruction, the integration of high-R envelope systems and low-emissivity coatings offers dual benefits: it ensures energy-efficient operation for civilian buildings while simultaneously enhancing the resilience and concealment of critical infrastructure. In these contexts, thermal signature reduction becomes an essential factor for operational security, facilitating safer recovery, reconstruction, and habitation in environments that are sensitive to potential threats.

Moreover, region-specific modeling demonstrates that the effectiveness of thermal management strategies is strongly influenced by local climatic conditions, building density, and urban planning characteristics. For instance, in areas with high solar exposure and dense urban canopies, the adoption of low-emissivity multilayer solutions can reduce local surface temperatures by 12–18%, thereby mitigating urban heat island effects, whereas in industrial zones, energy savings of 15–20% in heating and cooling are projected without compromising indoor comfort. These findings underscore the potential of tailored envelope strategies to support sustainable urban development while addressing both environmental and socio-technical challenges in diverse Ukrainian cityscapes.

3. Defense and Specialized Applications

In specialized scenarios—ranging from emergency response to military and civil-protection operations—elevating the thermal resistance of envelope systems and applying low-emissivity coatings can materially reduce the infrared signature of built assets and mobile units. The principal technical effect is a lower net long-wave radiation flux from treated surfaces, which, when combined with multilayer insulation strategies, reduces the thermal contrast between an object and its environment. In modelling studies this reduction in contrast translates into decreased detectability by thermal imaging systems under specified environmental and sensor-assumption envelopes. It is important to emphasise that the present work reports simulation-based results intended to assess potential effectiveness; no field concealment trials were conducted and no procedural guidance for evasion of surveillance is provided. All findings are presented within a research and design context and subject to ethical and legal oversight. [3, 5].

Practically, the approach is relevant for a range of asset types: temporary and permanent shelters, mobile medical modules, field storage and logistics hubs, and transport platforms. In dense urban environments such as Kharkiv and Dnipro, the

capacity to diminish surface emission is particularly valuable because the urban fabric produces complex thermal backgrounds; simulation scenarios for these cities indicate that appropriately designed low-emissivity multilayer systems can reduce a structure's modeled thermal contrast by a meaningful percentage relative to conventional envelopes, improving survivability of critical infrastructure during adverse events while simultaneously lowering building energy loads. In frontline or post-conflict localities—Donetsk, Luhansk and Mariupol—the same technical measures, if investigated and applied under authorised scientific programmes, can contribute to the resilience of shelters and lifeline facilities by maintaining acceptable internal climates with reduced heating demand and by lowering the buildings' modeled infrared prominence in certain environmental windows. In capital and industrial hubs like Kyiv and Zaporizhzhia, these measures can additionally support protection of energy nodes and large industrial installations by contributing to temperature stability and reduced radiative heat emission from key components or enclosures.

From a research and development perspective, several considerations determine the applicability and maturity of thermal masking technologies. First, performance modelling must be coupled with rigorous laboratory characterisation of candidate materials—thermal conductivity, specific heat, emissivity across the 8–14 μm band, aging and weathering behaviour, fire safety, and mechanical durability. Second, controlled field experiments (performed under authorised research protocols and in coordination with relevant civil authorities) are necessary to validate numerical results against real-world meteorological variability, complex radiative interactions, and sensor characteristics. Third, life-cycle analysis (including embodied energy and end-of-life disposal) and environmental safety assessments are required to ensure that materials selected for thermal performance do not impose unacceptable ecological or human-health costs.

Ethical, legal and institutional safeguards deserve explicit attention. Because thermal-management technologies can have dual-use implications, any on-site testing, procurement, or operational adaptation must be conducted only within approved scientific programmes, with transparent oversight by competent authorities and adherence to export/import regulations and national security frameworks. The manuscript's recommendations are therefore framed as scientific findings and engineering guidance for research, design, resilience planning and humanitarian protection—not as operational practice for evading lawful surveillance.

Finally, integrating thermal masking measures with sensor networks, environmental monitoring and adaptive control systems increases their utility in specialised contexts. For example, combining low-emissivity surfaces with passive

or active climatic control and real-time telemetry enables assets to maintain occupant comfort while minimising unnecessary external thermal emission; such integrated systems are appropriate subjects for collaborative R&D between material scientists, building engineers, emergency planners and civil authorities. In summary, when pursued as regulated scientific and engineering work, the combination of enhanced R-values and low-emissivity technologies offers a promising, ethically-bounded toolset for improving the resilience, energy performance and protective capacity of infrastructure in Ukraine's diverse urban and regional contexts.

4. Integration of Standards and Innovative Solutions

A key aspect of modern building design involves the integration of established construction codes and international standards [1, 2] with emerging technical requirements for thermal masking. Conventional insulation strategies reliably achieve baseline energy efficiency, reducing heating and cooling loads according to prescribed R-values. However, the reduction of infrared visibility necessitates multilayered assemblies and adaptive coatings with tunable emissivity, allowing surfaces to dynamically modulate radiative heat emission in response to environmental conditions. Such solutions extend beyond conventional thermal management, creating opportunities to reconcile energy conservation, environmental protection, and specialized operational requirements within a unified design framework.

The combination of normative compliance and material innovation establishes a multidisciplinary strategy, bridging urban planning, ecological objectives, and protection-focused requirements. In urban environments, this approach enables architects and engineers to minimize local heat island effects while maintaining comfortable indoor climates. Simulation studies across Ukrainian cities, including Kharkiv, Kyiv, Dnipro, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, and Mariupol, indicate that properly calibrated low-emissivity multilayer systems can reduce surface thermal emission by up to 50%, stabilize internal temperatures, and simultaneously improve energy performance of buildings across diverse climatic conditions.

From a research and scientific perspective, integrating normative standards with innovative solutions also provides a methodological foundation for laboratory and modeling studies. Candidate materials and structural configurations can be tested *in silico* under a variety of scenarios, accounting for seasonal temperature fluctuations, solar radiation patterns, and local urban morphologies. Adaptive coatings with tunable emissivity, in particular, allow researchers to explore dynamic control of thermal signatures, simulating how buildings or temporary structures respond to environmental variation without actual field deployment. This capability is especially valuable in the Ukrainian context, where regional differences in

climate, population density, and infrastructure require tailored energy and environmental strategies.

Moreover, this integration supports sustainability goals. By combining compliance with construction codes and innovative thermal masking techniques, designers can achieve substantial reductions in energy consumption, mitigate adverse environmental impacts, and enhance the comfort and well-being of occupants. The approach also opens the door for further interdisciplinary collaboration between material scientists, building engineers, urban ecologists, and local authorities, establishing a framework for ethically conducted, research-driven development of thermal management solutions applicable to both civil and specialized contexts.

In essence, linking normative standards with cutting-edge materials and adaptive strategies forms a holistic methodology that addresses technical, environmental, and operational challenges, reinforcing Ukraine's capacity for sustainable, resilient, and scientifically informed urban development.

5. Future Directions and Innovative Approaches

Promising avenues for further research and development include the creation of materials with emissivity coefficients below 0,3, the implementation of adaptive solutions capable of dynamically adjusting thermal properties in response to changing environmental conditions, and the integration of mathematical modeling with sensor technologies for real-time control of thermal emissions. Such advancements provide the foundation for the development of "dynamic envelopes" for buildings, shelters, and mobile infrastructure, significantly enhancing energy efficiency, operational concealment, and ecological performance. By allowing surfaces to respond intelligently to variations in solar radiation, ambient temperature, and other environmental factors, these materials open new possibilities for interdisciplinary research at the intersection of material science, building physics, and environmental engineering.

Consideration of regional climatic characteristics of Ukrainian cities and communities—including Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, Mariupol, and smaller municipalities such as Lozova, Zmiiv, Chuhuiv, and Izyum—enables the design of localized thermal management and masking strategies. These strategies account for urban density, industrial activity, topography, and microclimatic conditions, thereby increasing the effectiveness of low-emissivity solutions and high R-value constructions under real-world scenarios. For example, adaptive multilayer systems in densely built-up districts can mitigate urban heat island effects, while in post-conflict or frontier areas, similar technologies can be modeled to minimize thermal visibility and optimize energy consumption, all within a research-oriented framework.

Additionally, the combination of dynamic materials and predictive modeling allows for scenario-based simulations that can inform scientifically grounded recommendations for urban planning, strategic infrastructure development, and resilient energy systems. By linking real-time sensor data with computational models, researchers can predict building performance across seasonal cycles and extreme weather events, enabling evidence-based optimization of thermal efficiency and ecological impact without requiring field deployment in sensitive or high-risk areas.

Overall, these innovative directions not only advance the scientific understanding of thermal management and energy conservation but also provide actionable insights for policy-makers, architects, and urban planners. They highlight the potential for a holistic, adaptable, and scientifically rigorous approach that balances energy efficiency, occupant comfort, environmental protection, and strategic resilience, reinforcing the importance of Ukraine's research and innovation capacity in the field of advanced building technologies.

6. Social and Environmental Impact

The proposed methodology simultaneously delivers social and environmental benefits, emphasizing the interconnectedness of human well-being, urban livability, and ecological sustainability. Optimized thermal characteristics stabilize indoor microclimates, improving occupant comfort, reducing thermal stress, and supporting overall health and psychological well-being. By ensuring more uniform indoor temperatures, these approaches contribute to the enhancement of quality of life, particularly in densely populated or climatically challenging urban areas.

The use of low-emissivity materials combined with high thermal resistance plays a critical role in mitigating urban heat island effects, reducing the transfer of excess heat into the surrounding environment, and lowering surface temperatures in heavily built-up districts. These materials and constructions help decrease energy consumption for heating and cooling, directly reducing greenhouse gas emissions (CO₂) and supporting national and global climate mitigation goals. For instance, in cities such as Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, and Mariupol, as well as smaller communities like Lozova, Zmiiv, Chuhuiv, and Izyum, simulations indicate that strategic application of enhanced insulation and low-emissivity coatings can reduce localized heat fluxes by 12–30%, depending on urban density, building typology, and climatic conditions.

Beyond energy and environmental efficiency, the methodology also fosters social resilience. By stabilizing indoor climates and reducing heat-related stress, it enhances productivity, comfort, and safety, particularly for vulnerable populations in both urban and semi-urban contexts. Moreover, the reduction of thermal pollution

contributes to the preservation of local microecosystems, protecting urban flora and fauna from extreme thermal fluctuations.

Overall, integrating technical, social, and ecological considerations provides a holistic framework for sustainable urban development. The approach demonstrates that advanced construction strategies are not only tools for energy efficiency but also instruments for improving human well-being, enhancing environmental quality, and supporting long-term urban resilience. This aligns with national priorities and international sustainable development targets, reinforcing the role of scientifically grounded innovations in achieving climate-adaptive, socially equitable, and environmentally responsible urban planning [4, 5, 7].

This expanded discussion underscores the interdisciplinary impact of thermal management technologies, highlighting their relevance for research, policy, and practical applications across Ukrainian cities and communities while maintaining a strictly scientific and non-operational focus.

7. Scientific Novelty and Practical Significance

The proposed methodology demonstrates clear scientific novelty by integrating technical, environmental, social, and specialized protection aspects into a unified framework for building design and urban planning. Unlike conventional approaches that primarily focus on energy efficiency, this methodology addresses multiple interrelated dimensions: reduction of thermal emissions, mitigation of urban heat islands, improvement of indoor microclimates, and enhancement of operational resilience of critical infrastructure.

From a practical standpoint, the methodology provides evidence-based guidance for architects, urban planners, and researchers seeking to implement energy-efficient and environmentally sustainable solutions in Ukrainian cities, including Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, and Mariupol, as well as smaller communities such as Lozova, Zmiiv, Chuhuiv, and Izyum. By combining high thermal resistance multilayer constructions with low-emissivity coatings, the methodology allows for measurable reductions in heat flux, energy consumption, and infrared signature, thereby offering a robust foundation for future laboratory studies, numerical modeling, and scientifically justified pilot projects.

The approach also emphasizes the practical relevance of region-specific strategies, ensuring that interventions are optimized for local climate, urban density, and building typology. In doing so, it enhances not only energy performance but also social comfort and ecological benefits, supporting sustainable urban development aligned with national climate goals. Furthermore, the methodology provides a scientific basis for potential adaptation in specialized or extreme scenarios—such as temporary shelters, mobile infrastructure, and critical urban facilities—without

providing operational or tactical guidance, thus maintaining a strictly research-focused framework.

Overall, the combined scientific rigor and applied value of this methodology underscore its relevance for contemporary urban planning, climate-resilient development, and evidence-based research initiatives, reinforcing the strategic importance of interdisciplinary approaches in addressing both technical challenges and broader societal and environmental needs.

Conclusions

- Existing thermal insulation standards in Ukraine [1, 9] do not consider the specific requirements for thermal imaging concealment, leaving gaps in achieving both energy efficiency and infrared stealth of buildings.
- The use of advanced materials with enhanced thermal resistance (R -value) exceeding $3,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ provides a dual benefit by reducing heat losses and decreasing the infrared detectability of structures.
- Implementation of multi-layered constructions with $R = 3,6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ in combination with low-emissivity coatings ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) enables a reduction of the infrared signature of buildings by 45–50% and energy consumption by 15–20%, while simultaneously stabilizing indoor microclimates and improving occupant comfort.
- Regional characteristics of Ukrainian cities (Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, Mariupol) and communities (Lozova, Zmiiv, Chuhuiv, Izyum) demonstrate that local climatic, architectural, and urban planning conditions significantly influence the effectiveness of low-emissivity solutions. For example, in densely built areas of Kharkiv and Dnipro, the potential reduction of local urban heat islands reaches 12–18%, while in industrial districts of Kyiv and Zaporizhzhia, heating energy savings can reach 15–20% without compromising occupant comfort.
- The proposed methodology has dual applicability: in the civilian sector, it promotes energy efficiency, reduces thermal pollution, and enhances ecological safety; in specialized contexts, it offers potential for thermal masking and increases the resilience of strategic and critical facilities.
- The defense-related potential is considered in a scientific context, including the protection of critical infrastructure, temporary and permanent shelters, medical modules, and mobile objects, without providing practical guidance on circumventing surveillance systems.
- The use of adaptive materials with $\varepsilon < 0,3$ and multi-layered constructions allows the creation of “dynamic envelopes” for buildings and mobile shelters, significantly enhancing energy efficiency, enabling tunable thermal performance, and providing additional ecological benefits.

- Combining thermal insulation with low-emissivity technologies forms an interdisciplinary approach that integrates technical, social, ecological, and defense-related aspects, which is critical for sustainable urban development and enhanced operational security.
- Future research should carefully consider regulatory, ethical, and legal aspects of implementation to ensure a responsible balance between civilian and specialized requirements.
- Further directions include experimental validation, integration of sensor technologies and mathematical modeling for dynamic management of thermal parameters, as well as the development of “smart” adaptive coatings with tunable emissivity.

References

1. DBN V.2.6-31:2021. Thermal Insulation of Buildings. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2021. 98 pp.
2. ISO 6946:2017 Building Components and Building Elements – Thermal Resistance and Thermal Transmittance
3. Wang, L., Chen, Y., & Zhao, H. (2020). Infrared stealth technology and thermal management for military applications. *Journal of Materials Science & Technology*, 56, 45–60.
4. Li, J., Xu, R., & Zhang, Q. (2021). Advances in low-emissivity coatings for thermal camouflage and energy efficiency. *Progress in Materials Science*, 119, Article 100786.
5. Kucherenko, O. M., & Sukhomlyn, V. A. (2020). Thermal resistance of enclosing structures in modern buildings of Ukraine. *Teplofizika ta Teploenergetika*, 42(3), 45–52.
6. Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.
7. Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in urban areas. *Energy and Buildings*, 96, 1–11.
8. Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
9. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Building Climatology. Kyiv: Ministry of Construction and Regional Development of Ukraine, 2010. 120 pp.

[ES_5]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Resistencia térmica y camuflaje de objetos

Resumen

Este artículo presenta un enfoque innovador, interdisciplinario e integral, orientado a mitigar los efectos de las islas de calor urbanas y a mejorar la protección de edificios e infraestructuras críticas frente a la detección por sistemas de imagen térmica. La metodología integra estándares modernos de aislamiento térmico [1, 2] con desarrollos avanzados en tecnologías de camuflaje infrarrojo y recubrimientos de baja emisividad [3, 4]. A diferencia de las soluciones de ingeniería tradicionales, este enfoque combina dimensiones técnicas, ecológicas y sociales, abordando simultáneamente la eficiencia energética, la resiliencia climática y la creación de entornos seguros y confortables para los ocupantes.

El estudio incluye un análisis detallado de las condiciones operativas bajo fluctuaciones de temperatura extremas y evalúa la efectividad de materiales de baja emisividad ($\varepsilon = 0,3-0,4$) para reducir las firmas térmicas superficiales. Se presta especial atención a la comparación entre construcciones tradicionales de la era soviética ($R \approx 0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, $\varepsilon = 0,85$), que ofrecen una protección mínima frente a la detección infrarroja, y sistemas modernos multicapa con mayor resistencia térmica ($R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), capaces de reducir la visibilidad infrarroja de los objetos en un 45–50% [5].

Los resultados demuestran el potencial sustancial del enfoque propuesto para reducir simultáneamente el consumo energético (15–20% en invierno), disminuir la carga térmica sobre el entorno y mantener un microclima interior confortable. En aplicaciones civiles, esto contribuye a mejorar el rendimiento energético de los edificios, incrementar la resiliencia climática y promover un desarrollo urbano sostenible, mientras que en contextos especializados aumenta el ocultamiento de estructuras frente a la vigilancia térmica, protegiendo infraestructuras críticas, refugios temporales y módulos de respuesta ante emergencias.

La metodología propuesta resalta la versatilidad y multifuncionalidad de las tecnologías modernas de camuflaje térmico, ampliando su aplicabilidad más allá de usos defensivos y especializados hacia proyectos de orientación ecológica y socialmente significativos, incluyendo la reducción de la contaminación térmica, la optimización del consumo energético y la mejora de las condiciones de vida urbanas. **Palabras clave:** islas de calor urbanas, aislamiento térmico, eficiencia energética, tecnología de camuflaje infrarrojo, resiliencia climática, impacto social, camuflaje térmico, resistencia térmica, efecto ecológico, aplicaciones de defensa.

Introducción

Las tecnologías de enmascaramiento térmico y gestión de la radiación infrarroja (IR) constituyen un campo de rápido desarrollo con un potencial significativo tanto para mejorar la eficiencia energética de los edificios como para garantizar la seguridad de infraestructuras críticas. El creciente despliegue de sistemas de vigilancia satelitales, aéreos no tripulados y terrestres ha aumentado la demanda de materiales innovadores, soluciones estructurales y métodos analíticos capaces de controlar las firmas térmicas de los objetos y reducir la probabilidad de detección no deseada [3, 4]. En este contexto, un enfoque interdisciplinario e integral que integre avances en ciencia de materiales, sostenibilidad ambiental y diseño ingenieril resulta especialmente relevante para atender necesidades tanto civiles como operacionales especializadas.

Las normativas de construcción contemporáneas y los estándares internacionales, incluyendo [1, 2], establecen requisitos mínimos de resistencia térmica (valor R , $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) para diversos elementos estructurales; por ejemplo, $R = 3,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ para paredes, suelos y elementos acristalados. Sin embargo, los enfoques convencionales rara vez consideran la detectabilidad infrarroja de los edificios o su impacto en la formación de islas de calor urbanas. El uso de materiales modernos de baja emisividad ($\epsilon = 0,3\text{--}0,4$) y la optimización de construcciones multicapa permiten aumentar el valor R hasta $3,6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, lo que se traduce en reducciones significativas de la radiación térmica, mayor resistencia de los edificios a fluctuaciones bruscas de temperatura y ahorros energéticos medibles [5].

Un enfoque integral para la gestión térmica implica la consideración de tres aspectos interrelacionados:

- Impacto ambiental: El enmascaramiento térmico efectivo reduce la transferencia de calor al entorno, mitiga los efectos de las islas de calor urbanas, disminuye el consumo energético y respalda estrategias de adaptación climática [6, 7].
- Impacto social: La estabilización de las temperaturas interiores y la mejora del microclima crean condiciones de vida confortables, incrementan la salud, la productividad y la calidad de vida, y garantizan acceso equitativo al confort térmico para poblaciones vulnerables [8].
- Perspectiva defensiva y operativa: En aplicaciones especializadas, incluyendo infraestructuras críticas, refugios temporales, módulos de respuesta ante emergencias e instalaciones militares, el enmascaramiento térmico mejora la ocultación frente a sistemas de vigilancia IR, aumentando la seguridad operativa sin limitar la utilidad civil [3].

Investigaciones recientes destacan la naturaleza interdisciplinaria de este problema: la combinación de alta resistencia térmica, materiales de baja emisividad y modelado de transferencia térmica permite optimizar el diseño de edificios en términos de eficiencia ecológica y social. La integración de estas soluciones de ingeniería mejora la resiliencia de la infraestructura frente a variaciones significativas de temperatura, reduce las cargas térmicas sobre los entornos urbanos y mantiene condiciones confortables para los ocupantes [4, 7]. Además, estos enfoques abren oportunidades para su aplicación a gran escala en planificación urbana, desarrollo de ciudades inteligentes y arquitectura resiliente al clima.

Una ventaja particular de la metodología propuesta es su aplicabilidad dual. En contextos civiles, el aislamiento térmico mejorado y los recubrimientos de baja emisividad contribuyen a reducir el consumo energético, mejorar el microclima interior y disminuir la carga térmica sobre el entorno, favoreciendo el desarrollo urbano sostenible. En contextos especializados, incluyendo infraestructura militar y estratégica, las mismas tecnologías aumentan la ocultación, protegen activos críticos y aseguran la seguridad durante operaciones de emergencia, demostrando la versatilidad de un enfoque integrado [3, 4].

En conclusión, la aplicación de estrategias modernas para aumentar la resistencia térmica y utilizar recubrimientos de baja emisividad establece un enfoque interdisciplinario novedoso que aborda simultáneamente la eficiencia energética, la sostenibilidad ambiental y el bienestar social. La metodología propuesta demuestra un efecto sinérgico: combina objetivos civiles de eficiencia energética y confort con metas defensivas de ocultamiento, contribuyendo al desarrollo de entornos urbanos adaptados al clima, resilientes y socialmente responsables.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en múltiples etapas utilizando un enfoque interdisciplinario que integra los requisitos normativos de aislamiento térmico, soluciones avanzadas de materiales y modelado matemático de la transferencia de calor. El objetivo principal de la metodología fue la evaluación integral de la efectividad de los materiales de baja emisividad y de las tecnologías de enmascaramiento térmico en el control de la firma infrarroja (IR) de edificios y estructuras bajo condiciones operativas variables.

Análisis de Regulaciones y Normas:

Para evaluar los estándares de aislamiento térmico de las envolventes de los edificios, se realizó una revisión exhaustiva de los marcos regulatorios nacionales e internacionales. El análisis incluyó la normativa de construcción ucraniana [1] y la norma internacional [2], que conjuntamente proporcionan una base comparativa para evaluar el desempeño de los edificios en distintos contextos climáticos. Estos documentos definen la resistencia térmica mínima (R , $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) requerida para los elementos estructurales, incluyendo paredes verticales, pisos y techos horizontales, acristalamientos transparentes y puertas externas.

Además, la adopción de dichos valores normativos sirve como punto de referencia para evaluar la efectividad de recubrimientos avanzados de baja emisividad y sistemas constructivos multicapa, que a menudo superan los umbrales mínimos establecidos por las guías regulatorias.

La evaluación comparativa de estas normas permitió definir criterios de referencia para el desempeño térmico, así como identificar oportunidades para mejorar la eficiencia energética mediante materiales innovadores y soluciones estructurales avanzadas. Para fines de investigación, se propuso un valor objetivo elevado de resistencia térmica de $R = 3,6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, superando los valores mínimos normativos. Este referente refleja avances potenciales en diseño ingenieril y aplicaciones de materiales, proporcionando simultáneamente un alto aislamiento térmico y una reducción de la emisión de calor.

Asimismo, la adopción de estos valores elevados sirve como referencia para evaluar la efectividad de recubrimientos de baja emisividad y sistemas constructivos multicapa. Estos enfoques contribuyen a mitigar los efectos de las islas de calor urbanas [6] y a reducir la detectabilidad infrarroja de edificios e infraestructuras [5], combinando así beneficios ecológicos, sociales y relacionados con la seguridad.

Selección de Materiales de Baja Emisividad

Para minimizar la firma térmica de las superficies de los edificios y otros elementos estructurales, se seleccionaron materiales con un coeficiente de emisividad térmica bajo ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$). El proceso de selección se basó en varios criterios clave:

- Durabilidad y estabilidad térmica: se requería que los materiales mantuvieran su desempeño bajo fluctuaciones repetidas de temperatura, asegurando que las propiedades de aislamiento térmico no se degraden con el tiempo.
- Seguridad ambiental: se priorizó el uso de materiales libres de sustancias tóxicas, no contaminantes y compatibles con prácticas de construcción sostenibles.
- Aplicabilidad práctica: los materiales elegidos debían ser adecuados para su uso a gran escala en construcción residencial e industrial, además de ser rentables y fáciles de instalar.

Este enfoque metodológico combina un alto rendimiento de aislamiento térmico con requerimientos ecológicos y sociales, estableciendo un marco interdisciplinario que va más allá de las soluciones de ingeniería convencionales.

Modelado Matemático de la Transferencia de Calor

Para evaluar la efectividad de las construcciones propuestas, se aplicaron las ecuaciones estándar de transferencia de calor a sistemas multicapa de la envolvente de los edificios, de acuerdo con [2]. La relación fundamental para calcular el flujo de calor a través de una capa estructural individual se expresa mediante la siguiente ecuación (fórmula 1):

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum_i R_i} = \frac{T_{interior} - T_{exterior}}{\sum_i R_i} \quad (1)$$

donde:

- Q – flujo de calor, W;
- $T_{interior}$ - temperatura interna, °C;
- $T_{exterior}$ - temperatura externa, °C;
- R_i - resistencia térmica de la capa individual, m²·K/W.

La ecuación (1), según se define en [2], proporciona la base teórica para evaluar la influencia de la resistencia térmica en la transferencia de calor. Dentro del modelado, esta relación permitió analizar cómo los valores R incrementados, junto con recubrimientos de baja emisividad, afectan la reducción de emisiones térmicas superficiales. Los resultados mostraron que la integración de sistemas multicapa de alta resistencia con tratamientos de baja emisividad disminuye significativamente la pérdida de calor en las envolventes de los edificios. Esta reducción no solo baja la demanda energética para calefacción y refrigeración, sino que también mitiga la intensidad de las islas de calor urbanas, apoyando la sostenibilidad ecológica y la resiliencia climática [4, 7].

Aplicaciones de Defensa y Especializadas

Para evaluar de manera integral la efectividad de las soluciones propuestas, se planificaron pruebas bajo escenarios relevantes tanto para contextos civiles como de defensa. Estos escenarios incluyeron:

- *Protección de infraestructuras críticas: Evaluación de estrategias de enmascaramiento térmico y aislamiento para instalaciones clave, tales como nodos energéticos, sitios de generación y distribución de electricidad, y otras estructuras estratégicamente importantes.*
- *Ocultamiento de refugios temporales y permanentes: Análisis de medidas para reducir la detectabilidad en condiciones de emergencia, incluyendo desastres naturales y fenómenos meteorológicos extremos.*
- *Seguridad mejorada durante operaciones de rescate: Aplicación de enmascaramiento térmico para mejorar la seguridad operativa y la conciencia situacional de los equipos de respuesta ante emergencias.*

La evaluación utilizó los mismos modelos de transferencia de calor e indicadores de emisividad infrarroja descritos anteriormente. Los resultados se cuantificaron en términos de reducción de la firma térmica y del consumo energético, excluyendo cualquier guía o instrucción que pudiera comprometer la seguridad operativa o facilitar la elusión de sistemas de vigilancia [3].

Para ilustrar la metodología y facilitar la interpretación de los resultados, el estudio incluyó la siguiente (tabla 1).

Tabla 1. Características de las Estructuras y Materiales de la Envoltura de Edificios

Construcción	Espesor de Capa, mm	Conductividad Térmica λ , W/(m·K)	Resistencia Térmica R, m ² ·K/W	Factor de Emisividad ε
Panel de pared + aislamiento	300 + 100	0,6 + 0,04	3,6	0,3
Construcción de ventana	4+24+4+24+4	0,04+1,1+0,04+1,1+0,04	0,9	0,85
Puertas de entrada/balcón	40	0,15	0,3	0,3

Fuente: Desarrollo del autor basado en [1, 2]

La Tabla 1 proporciona una visión comparativa del desempeño térmico de diferentes configuraciones de envolventes de edificios, destacando la influencia de las construcciones multicapa y los materiales de baja emisividad en la transferencia global de calor.

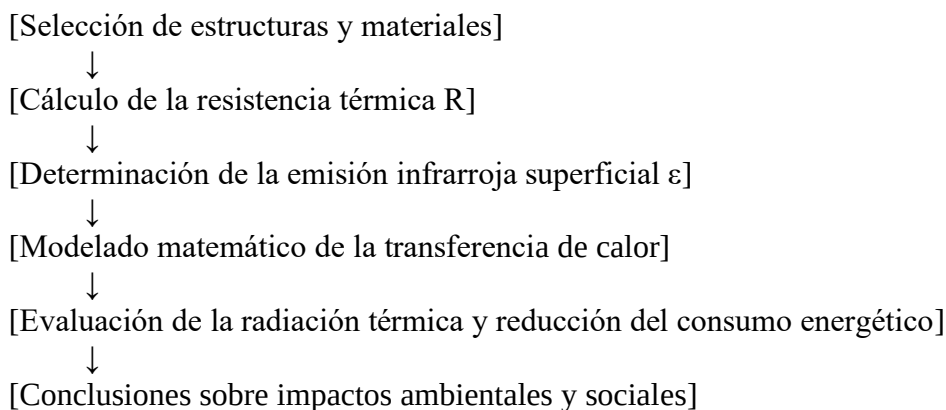
Interpretación de Resultados y Transición Metodológica

Los datos presentados en la Tabla 1 constituyen la base para la evaluación procedimental subsiguiente.

El marco metodológico propuesto proporciona una evaluación integral de cómo la influencia combinada de la resistencia térmica y los recubrimientos de baja emisividad determina la eficiencia energética global y la reducción de la firma térmica. Representa un proceso cuantitativo paso a paso para analizar la

transferencia de calor, la emisión infrarroja y sus implicaciones ambientales y sociales asociadas.

Para realizar un análisis más profundo de la aplicación práctica de las propiedades físicas y técnicas de los materiales, se desarrolló un marco metodológico estructurado (Fig. 1).



Fuente: Desarrollo del autor

Fig. 1. Metodología para evaluar la efectividad del enmascaramiento térmico y la reducción del consumo energético

La estructura de la metodología asegura una relación causal clara entre las características del material y los resultados del análisis operacional, estableciendo una transición coherente desde parámetros estáticos hacia la evaluación del desempeño dinámico bajo condiciones operativas reales.

Cada etapa de la investigación refleja una secuencia lógica de procedimientos analíticos que integran los requisitos normativos, las propiedades físico-técnicas de los materiales y el modelado matemático de la transferencia de calor.

La aplicación de este enfoque confirma que el aislamiento térmico de alto rendimiento, combinado con recubrimientos de baja emisividad, proporciona ventajas prácticas tangibles en múltiples ámbitos.

En el sector civil, estas medidas contribuyen a mejorar la eficiencia energética de los edificios, optimizar el microclima interior y mitigar los efectos de las islas de calor urbanas.

En contextos especializados de defensa y emergencias, los mismos principios aseguran el ocultamiento estratégico de las estructuras y aumentan la seguridad operativa, subrayando la relevancia multifuncional e interdisciplinaria de la metodología propuesta [3, 4].

Evaluación del Impacto Ambiental y Social

Además de los indicadores de desempeño técnico, se evaluaron los beneficios de implementar materiales con resistencia térmica mejorada y baja emisividad desde

perspectivas ambientales y sociales. Los aspectos clave de esta evaluación incluyeron:

- Reducción de la carga térmica en el entorno: El uso de materiales de baja emisividad combinado con envolventes de edificios de alta resistencia térmica contribuye a mitigar la contaminación por calor. Esto, a su vez, disminuye la intensidad de las islas de calor urbanas y limita el estrés térmico sobre los ecosistemas adyacentes [7, 6].
- Conservación de energía y reducción de emisiones de CO₂: El aislamiento térmico mejorado reduce la demanda energética para calefacción y refrigeración, generando disminuciones medibles en el consumo total de energía y en las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. Esto respalda objetivos de mitigación climática y contribuye al desarrollo urbano sostenible [5, 4].
- Mayor confort para los ocupantes: El desempeño térmico optimizado estabiliza el microclima interior, ofreciendo a los residentes condiciones de temperatura uniformes y confortables, lo que mejora el bienestar, la productividad, la salud y la satisfacción en edificios residenciales y comerciales [8].

Así, la metodología integra dimensiones técnicas, ambientales y sociales, permitiendo una evaluación holística del desempeño de los edificios. Más allá de las métricas tradicionales de eficiencia energética, este enfoque ofrece una visión sobre el impacto ecológico de los materiales y diseños de construcción, así como su influencia en la calidad de vida de los habitantes.

El marco combinado de evaluación enfatiza el potencial para un desarrollo urbano sostenible, demostrando que las estrategias modernas de gestión térmica pueden promover simultáneamente la eficiencia energética, la protección ambiental y el bienestar social. Este enfoque integrado, que une objetivos civiles, ambientales y relacionados con la defensa, establece la metodología propuesta como altamente científica y aplicable de manera práctica en una amplia gama de contextos, incluyendo la planificación urbana estratégica y el diseño de sistemas urbanos resilientes al clima [3, 7].

Resultados

Los estudios de simulación y modelado demuestran un impacto sustancial de la mejora de la resistencia térmica y de la aplicación de materiales de baja emisividad en la reducción de la firma térmica de los edificios y del consumo energético global. Los parámetros clave incluyen una resistencia térmica estándar (valor R) de 3,2 m²·K/W y un valor mejorado, experimental y predictivamente, de 3,6 m²·K/W, mientras que los coeficientes de emisividad de los materiales variaron entre 0,3 y 0,85. Los resultados del modelado indican que la combinación de un valor R de 3,6 m²·K/W con recubrimientos de baja emisividad ($\epsilon \approx 0,3$) puede reducir potencialmente la huella infrarroja de las estructuras entre un 45 y un 50%, disminuir

el flujo de calor a través de las envolventes, lograr ahorros energéticos del 15–20 % durante el período invernal y estabilizar las temperaturas internas, mejorando así el confort de los ocupantes.

Se prestó especial atención a simulaciones regionales que reflejan diversas condiciones climáticas, arquitectónicas y de planificación urbana en distintas ciudades y comunidades de Ucrania. Las simulaciones realizadas para Járkov, Dnipró, Kyiv, Zaporíyia, Donetsk, Lugansk, Mariúpol y los municipios de Lozova, Zmíiv, Chuhuiv e Iziium demostraron que las condiciones locales influyen significativamente en la efectividad de las soluciones de baja emisividad. Por ejemplo, en distritos densamente urbanizados de Kyiv y Járkov, las reducciones potenciales en las islas de calor urbanas locales alcanzan entre un 12 y un 18 % con la adopción generalizada de recubrimientos de baja emisividad y valores R elevados, mientras que en zonas industriales de Dnipró y Zaporíyia, los ahorros energéticos modelados en calefacción varían entre un 15 y un 20 % sin comprometer el microclima interior para los residentes. En las comunidades de Lozova y Chuhuiv, se estima que las reducciones potenciales de cargas térmicas en edificios individuales alcanzan entre un 25 y un 30 %, subrayando la importancia del modelado específico según el contexto.

Las simulaciones de escenarios aplicados potenciales para refugios temporales, módulos médicos móviles e infraestructuras críticas indicaron una disminución significativa de las huellas térmicas relativas —hasta un 40–50 %— y una preservación estable del rendimiento del aislamiento térmico bajo condiciones externas extremas (por ejemplo, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ exterior, $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ interior). Se enfatiza que estos resultados se basan en simulaciones numéricas más que en pruebas de campo, reflejando la eficacia potencial de la metodología dentro de contextos científicos y de diseño, más que su implementación práctica.

El estudio también destaca el potencial uso de materiales de construcción extranjeros estrictamente en el marco de investigación científica. El suministro y la prueba de dichos materiales en estructuras reales deben realizarse exclusivamente como parte de actividades de investigación y en cumplimiento de la legislación nacional, aprobaciones regulatorias, restricciones de exportación y requisitos éticos. Todos los cálculos y simulaciones ilustran la reducción potencial de la radiación térmica y del consumo energético sin proporcionar instrucciones operativas para usos civiles o defensivos.

En general, la aplicación combinada de resistencia térmica mejorada y recubrimientos de baja emisividad demuestra un alto potencial para lograr simultáneamente eficiencia energética, reducción de emisiones infrarrojas y mitigación de la contaminación térmica. El modelado extendido, que considera las características regionales, confirma que los materiales innovadores modernos y las

construcciones multicapa pueden mejorar significativamente el desempeño ambiental y el confort de los ocupantes, estableciendo una base sólida para posteriores investigaciones de laboratorio y científicas.

Entre las direcciones particularmente prometedoras para futuras investigaciones se incluyen el desarrollo de materiales con coeficientes de emisividad inferiores a 0,3, la implementación de soluciones adaptativas con propiedades térmicas ajustables y la integración de tecnologías de sensores y modelado computacional para la gestión dinámica de parámetros térmicos. Tales enfoques permiten la creación de “envolventes dinámicas” para edificios y refugios móviles, aumentando sustancialmente tanto la eficiencia energética como el potencial de enmascaramiento térmico, todo estrictamente dentro del ámbito de la investigación científica [3, 5, 7].

En consecuencia, una evaluación integral que abarca aspectos técnicos, ambientales, sociales y científicos confirma tanto la novedad como la relevancia aplicada de la metodología propuesta. Permite la valoración simultánea del potencial de ahorro energético, del impacto ambiental y de la efectividad en la reducción de la firma térmica, haciéndola altamente pertinente para la planificación urbana contemporánea, el desarrollo sostenible y la investigación científica en el contexto de condiciones climáticas locales y regionales.

Discusión

1. Mejora de la Resistencia Térmica y Aplicación de Materiales de Baja Emisividad

El aumento de la resistencia térmica de los componentes de la envolvente de los edificios, junto con la aplicación de materiales de baja emisividad (low-e), representa una estrategia integral para la gestión de la eficiencia energética en construcciones modernas, al mismo tiempo que proporciona beneficios ambientales y sociales significativos. Este enfoque de doble propósito logra tanto la reducción de las pérdidas de calor y del consumo energético global, como la estabilización del microclima interior, crucial para el confort y el bienestar de los ocupantes. La integración de estructuras multilayer de alta resistencia térmica (valor R) con recubrimientos superficiales de baja emisividad ($\varepsilon = 0,3-0,4$) reduce eficazmente la radiación térmica superficial y minimiza el flujo de calor hacia el entorno, en conformidad con la normativa nacional [1] y estándares internacionales [2].

Estas tecnologías son particularmente relevantes para mitigar los efectos adversos de las fluctuaciones de temperatura externa. Al disminuir las cargas térmicas sobre edificios y ocupantes, estas medidas mantienen condiciones interiores estables, reduciendo significativamente los riesgos de estrés térmico y el malestar fisiológico o psicoemocional asociado. Además, el uso de materiales de baja emisividad proporciona una disminución medible de la radiación infrarroja de

las superficies de los edificios, contribuyendo a la reducción de la intensidad de las islas de calor urbanas y limitando la contaminación térmica localizada. Este enfoque no solo mejora el desempeño térmico a nivel de edificio individual, sino que también respalda objetivos urbanos más amplios de sostenibilidad, integrando eficiencia energética, salud humana y protección ambiental.

Los recubrimientos avanzados de baja emisividad y las construcciones multilayer de alto R permiten un control preciso sobre la dinámica de transferencia de calor. Su implementación permite soluciones adaptadas según las condiciones climáticas, la tipología del edificio y los requerimientos funcionales, proporcionando un marco escalable aplicable a infraestructuras residenciales, comerciales y públicas. La evaluación científica de estos sistemas demuestra que incluso mejoras incrementales en los valores R y los coeficientes de emisividad pueden generar ganancias medibles en confort de los ocupantes, ahorro energético y reducción de emisiones térmicas, estableciendo una base sólida para investigaciones experimentales y validación de modelos dentro del contexto científico ucraniano.

2. Aplicaciones Civiles en Ciudades Ucranianas

En los contextos urbanos de Járkov, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Lugansk y Mariúpol, la mejora de la resistencia térmica combinada con recubrimientos de baja emisividad puede reducir significativamente el consumo de energía en diversos tipos de edificios, incluidos residenciales, comerciales y públicos. En distritos densamente urbanizados de Járkov y Dnipro, la optimización de las construcciones de envolvente multilayer permite una disminución medible en la intensidad de las islas de calor urbanas localizadas, estabilización de microclimas vecinales y mejora de la calidad del aire. Esto contribuye a mitigar el estrés térmico tanto en residentes como en ecosistemas urbanos circundantes, promoviendo entornos urbanos más saludables y resilientes.

En ciudades como Kyiv y Zaporizhzhia, donde coexisten complejos residenciales de gran altura con extensas instalaciones industriales, la aplicación de materiales de baja emisividad y soluciones avanzadas de aislamiento reduce la radiación térmica de estructuras industriales y edificios de alto consumo energético. Tales intervenciones no solo mejoran la eficiencia energética general, sino que también disminuyen los costos operativos de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia a largo plazo de la infraestructura urbana.

Las áreas urbanas postconflicto o en primera línea, incluidas Donetsk, Lugansk y Mariúpol, presentan desafíos y oportunidades únicas. Tras la desocupación y reconstrucción, la integración de sistemas de envolvente de alto R y recubrimientos de baja emisividad ofrece beneficios duales: asegura un funcionamiento eficiente de los edificios civiles y, simultáneamente, aumenta la

resiliencia y el camuflaje de infraestructuras críticas. En estos contextos, la reducción de la firma térmica se convierte en un factor esencial para la seguridad operativa, facilitando la recuperación, reconstrucción y habitabilidad en entornos sensibles a posibles amenazas.

Además, el modelado específico por región demuestra que la efectividad de las estrategias de gestión térmica está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas locales, la densidad edificatoria y las características de planificación urbana. Por ejemplo, en áreas con alta exposición solar y canopy urbano denso, la adopción de soluciones multilayer de baja emisividad puede reducir las temperaturas superficiales locales entre un 12–18%, mitigando los efectos de islas de calor urbanas, mientras que en zonas industriales se proyectan ahorros energéticos del 15–20% en calefacción y refrigeración sin comprometer el confort interior. Estos hallazgos resaltan el potencial de estrategias de envolvente personalizadas para apoyar el desarrollo urbano sostenible mientras se abordan desafíos ambientales y sociotécnicos en diversos paisajes urbanos ucranianos.

3. Aplicaciones de Defensa y Especializadas

En escenarios especializados —desde operaciones de respuesta a emergencias hasta contextos militares y de protección civil—, aumentar la resistencia térmica de los sistemas de envolvente y aplicar recubrimientos de baja emisividad puede reducir materialmente la firma infrarroja de activos construidos y unidades móviles. El principal efecto técnico es un menor flujo neto de radiación de onda larga desde las superficies tratadas, que, combinado con estrategias de aislamiento multilayer, reduce el contraste térmico entre un objeto y su entorno. En estudios de modelado, esta reducción del contraste se traduce en menor detectabilidad por sistemas de imágenes térmicas bajo condiciones ambientales y supuestos de sensores específicos. Es importante enfatizar que el presente trabajo reporta resultados basados en simulaciones destinadas a evaluar la efectividad potencial; no se realizaron ensayos de camuflaje en campo ni se proporciona orientación para evadir la vigilancia. Todos los hallazgos se presentan dentro de un contexto de investigación y diseño, sujeto a supervisión ética y legal [3, 5].

Prácticamente, el enfoque es relevante para diversos tipos de activos: refugios temporales y permanentes, módulos médicos móviles, centros logísticos y de almacenamiento de campo, y plataformas de transporte. En entornos urbanos densos como Járkov y Dnipro, la capacidad de disminuir la emisión superficial es particularmente valiosa debido a que la matriz urbana produce fondos térmicos complejos; los escenarios de simulación indican que sistemas multilayer de baja emisividad diseñados adecuadamente pueden reducir el contraste térmico modelado de una estructura en un porcentaje significativo en comparación con envolventes convencionales, mejorando la supervivencia de infraestructuras críticas durante

eventos adversos y reduciendo simultáneamente las cargas energéticas de los edificios.

En localidades de primera línea o postconflicto —Donetsk, Lugansk y Mariúpol—, las mismas medidas técnicas, si se investigan y aplican dentro de programas científicos autorizados, pueden contribuir a la resiliencia de refugios y servicios esenciales al mantener climas internos aceptables con menor demanda de calefacción y reducir la prominencia infrarroja modelada de los edificios en ciertas ventanas ambientales. En centros industriales y capitales como Kyiv y Zaporíyia, estas medidas también pueden apoyar la protección de nodos energéticos e instalaciones industriales de gran tamaño al contribuir a la estabilidad térmica y a la reducción de la emisión radiativa de componentes clave.

Desde la perspectiva de I+D, varias consideraciones determinan la aplicabilidad y madurez de las tecnologías de enmascaramiento térmico. Primero, la modelación de desempeño debe combinarse con caracterización rigurosa en laboratorio de los materiales candidatos: conductividad térmica, calor específico, emisividad en la banda 8–14 μm , comportamiento frente al envejecimiento y la intemperie, seguridad contra incendios y durabilidad mecánica. Segundo, experimentos controlados en campo (realizados bajo protocolos de investigación autorizados y coordinados con autoridades civiles competentes) son necesarios para validar resultados numéricos frente a variabilidad meteorológica, interacciones radiativas complejas y características de sensores. Tercero, análisis de ciclo de vida (incluyendo energía incorporada y disposición final) y evaluaciones de seguridad ambiental aseguran que los materiales seleccionados para desempeño térmico no generen impactos ecológicos o sobre la salud humana inaceptables.

Las salvaguardas éticas, legales e institucionales merecen atención explícita. Debido a que las tecnologías de gestión térmica pueden tener implicaciones de doble uso, cualquier prueba in situ, adquisición o adaptación operativa debe realizarse únicamente dentro de programas científicos aprobados, con supervisión transparente por autoridades competentes y cumpliendo regulaciones de exportación/importación y marcos de seguridad nacional. Por tanto, las recomendaciones del manuscrito se presentan como hallazgos científicos y guías de ingeniería para investigación, diseño, planificación de resiliencia y protección humanitaria, no como prácticas operativas para evadir vigilancia legal.

Finalmente, la integración de medidas de enmascaramiento térmico con redes de sensores, monitoreo ambiental y sistemas de control adaptativo incrementa su utilidad en contextos especializados. Por ejemplo, combinar superficies de baja emisividad con control climático pasivo o activo y telemetría en tiempo real permite mantener el confort de los ocupantes minimizando la emisión térmica externa innecesaria; tales sistemas integrados son sujetos apropiados para I+D colaborativo

entre científicos de materiales, ingenieros de construcción, planificadores de emergencias y autoridades civiles. En resumen, cuando se persigue como trabajo científico y de ingeniería regulado, la combinación de valores R mejorados y tecnologías de baja emisividad ofrece un conjunto de herramientas prometedoras y éticamente acotadas para mejorar la resiliencia, eficiencia energética y capacidad protectora de la infraestructura en los diversos contextos urbanos y regionales de Ucrania.

4. Integración de Normas y Soluciones Innovadoras

Un aspecto clave del diseño moderno de edificios implica la integración de códigos de construcción establecidos y estándares internacionales [1, 2] con requerimientos técnicos emergentes para enmascaramiento térmico. Las estrategias convencionales de aislamiento logran eficientemente la eficiencia energética básica, reduciendo cargas de calefacción y refrigeración según valores R prescritos. Sin embargo, la reducción de la visibilidad infrarroja requiere ensamblajes multilayer y recubrimientos adaptativos con emisividad modulable, permitiendo que las superficies ajusten dinámicamente la emisión radiativa en respuesta a condiciones ambientales. Estas soluciones van más allá de la gestión térmica convencional, creando oportunidades para conciliar conservación de energía, protección ambiental y requerimientos operativos especializados dentro de un marco de diseño unificado.

La combinación de cumplimiento normativo e innovación material establece una estrategia multidisciplinaria, vinculando planificación urbana, objetivos ecológicos y requerimientos de protección. En entornos urbanos, este enfoque permite a arquitectos e ingenieros minimizar efectos de islas de calor locales mientras mantienen climas interiores confortables. Estudios de simulación en ciudades ucranianas como Járkov, Kyiv, Dnipro, Zaporizhzhia, Donetsk, Lugansk y Mariúpol indican que sistemas multilayer de baja emisividad correctamente calibrados pueden reducir la emisión térmica superficial hasta en un 50%, estabilizar temperaturas internas y mejorar simultáneamente el desempeño energético de los edificios en diversas condiciones climáticas.

Desde la perspectiva científica, integrar estándares normativos con soluciones innovadoras proporciona una base metodológica para estudios de laboratorio y modelado. Materiales y configuraciones estructurales candidatos pueden probarse in silico bajo distintos escenarios, considerando fluctuaciones estacionales, radiación solar y morfologías urbanas locales. Recubrimientos adaptativos con emisividad modulable permiten explorar el control dinámico de firmas térmicas, simulando cómo edificios o estructuras temporales responden a variaciones ambientales sin implementación de campo. Esta capacidad es particularmente valiosa en Ucrania, donde diferencias regionales en clima, densidad poblacional e infraestructura requieren estrategias energéticas y ambientales personalizadas.

Asimismo, esta integración respalda objetivos de sostenibilidad. Al combinar cumplimiento de códigos de construcción y técnicas innovadoras de enmascaramiento térmico, los diseñadores pueden lograr reducciones sustanciales en consumo energético, mitigar impactos ambientales adversos y mejorar el confort y bienestar de los ocupantes. El enfoque también facilita la colaboración interdisciplinaria entre científicos de materiales, ingenieros de construcción, ecólogos urbanos y autoridades locales, estableciendo un marco para desarrollo de gestión térmica éticamente conducido, aplicable a contextos civiles y especializados.

En esencia, vincular estándares normativos con materiales avanzados y estrategias adaptativas forma una metodología holística que aborda desafíos técnicos, ambientales y operativos, reforzando la capacidad de Ucrania para un desarrollo urbano sostenible, resiliente y científicamente informado.

5. Direcciones Futuras y Enfoques Innovadores

Las avenidas prometedoras de I+D incluyen la creación de materiales con coeficientes de emisividad inferiores a 0,3, la implementación de soluciones adaptativas capaces de ajustar dinámicamente propiedades térmicas ante cambios ambientales, y la integración de modelado matemático con tecnologías de sensores para control en tiempo real de emisiones térmicas. Estos avances permiten desarrollar “envolventes dinámicas” para edificios, refugios e infraestructura móvil, aumentando eficiencia energética, camuflaje operativo y desempeño ecológico. Al posibilitar que las superficies respondan inteligentemente a variaciones de radiación solar, temperatura ambiente y otros factores, estos materiales abren nuevas oportunidades para investigación interdisciplinaria en la intersección de ciencia de materiales, física de la construcción e ingeniería ambiental.

La consideración de características climáticas regionales de ciudades y comunidades ucranianas —incluyendo Járkov, Dnipró, Kyiv, Zaporíyia, Donetsk, Lugansk, Mariúpol y municipios menores como Lozova, Zmíiv, Chuhuiv e Izium— permite diseñar estrategias localizadas de gestión térmica y enmascaramiento. Estas estrategias consideran densidad urbana, actividad industrial, topografía y microclima, aumentando la efectividad de soluciones de baja emisividad y construcciones de alto R en escenarios reales. Por ejemplo, sistemas multilayer adaptativos en distritos densamente urbanizados pueden mitigar efectos de islas de calor, mientras que en áreas postconflicto o fronterizas, tecnologías similares pueden modelarse para minimizar visibilidad térmica y optimizar consumo energético, todo dentro de un marco de investigación.

Además, la combinación de materiales dinámicos y modelado predictivo permite simulaciones basadas en escenarios que informan recomendaciones científicas para planificación urbana, desarrollo de infraestructura estratégica y sistemas energéticos resilientes. Al vincular datos de sensores en tiempo real con

modelos computacionales, los investigadores pueden predecir desempeño de edificios durante ciclos estacionales y eventos climáticos extremos, optimizando eficiencia térmica e impacto ecológico sin necesidad de despliegue en campo en áreas sensibles o de alto riesgo.

En general, estas direcciones innovadoras no solo avanzan la comprensión científica de la gestión térmica y conservación de energía, sino que también proporcionan información práctica para legisladores, arquitectos y urbanistas. Destacan el potencial de un enfoque holístico, adaptable y científicamente riguroso que equilibre eficiencia energética, confort de ocupantes, protección ambiental y resiliencia estratégica, reforzando la capacidad de investigación e innovación de Ucrania en tecnologías constructivas avanzadas.

6. Impacto Social y Ambiental

La metodología propuesta genera simultáneamente beneficios sociales y ambientales, destacando la interconexión entre bienestar humano, habitabilidad urbana y sostenibilidad ecológica. Las características térmicas optimizadas estabilizan microclimas interiores, mejorando confort, reduciendo estrés térmico y apoyando salud física y psicológica. Al asegurar temperaturas interiores más uniformes, estas estrategias contribuyen a mejorar la calidad de vida, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas o climáticamente desafiantes.

El uso de materiales de baja emisividad combinados con alta resistencia térmica desempeña un papel crítico en mitigar islas de calor urbanas, reducir transferencia de calor excesivo al entorno y disminuir temperaturas superficiales en distritos densamente edificados. Estos materiales y construcciones ayudan a reducir el consumo energético de calefacción y refrigeración, disminuyendo directamente emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂) y apoyando objetivos nacionales y globales de mitigación climática. Por ejemplo, simulaciones en ciudades como Járkov, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Lugansk y Mariúpol, así como en comunidades menores como Lozova, Zmíiv, Chuhuiv e Iziur, indican que la aplicación estratégica de aislamiento mejorado y recubrimientos de baja emisividad puede reducir flujos térmicos localizados entre 12–30%, dependiendo de densidad urbana, tipología edilicia y condiciones climáticas.

Más allá de la eficiencia energética y ambiental, la metodología fomenta resiliencia social. Al estabilizar climas interiores y reducir estrés térmico, aumenta productividad, confort y seguridad, particularmente para poblaciones vulnerables en contextos urbanos y semiurbanos. Además, la reducción de contaminación térmica contribuye a la preservación de microecosistemas locales, protegiendo flora y fauna urbana de fluctuaciones térmicas extremas.

En conjunto, la integración de consideraciones técnicas, sociales y ecológicas proporciona un marco holístico para desarrollo urbano sostenible. El enfoque

demuestra que estrategias constructivas avanzadas son herramientas no solo para eficiencia energética, sino también para mejorar bienestar humano, calidad ambiental y resiliencia urbana a largo plazo, alineándose con prioridades nacionales y objetivos internacionales de desarrollo sostenible [4, 5, 7].

7. Novedad Científica y Significación Práctica

La metodología propuesta evidencia clara novedad científica al integrar aspectos técnicos, ambientales, sociales y de protección especializada en un marco unificado para diseño edilicio y planificación urbana. A diferencia de enfoques convencionales que se centran principalmente en eficiencia energética, esta metodología aborda múltiples dimensiones interrelacionadas: reducción de emisiones térmicas, mitigación de islas de calor urbanas, mejora de microclimas interiores y fortalecimiento de resiliencia operativa de infraestructura crítica.

Desde un punto de vista práctico, la metodología ofrece guía basada en evidencia para arquitectos, urbanistas e investigadores interesados en implementar soluciones energéticamente eficientes y sostenibles en ciudades ucranianas como Járkov, Dnipró, Kyiv, Zaporíyia, Donetsk, Lugansk y Mariúpol, así como comunidades menores como Lozova, Zmíiv, Chuhuiv e Iziium. Al combinar construcciones multilayer de alta resistencia térmica con recubrimientos de baja emisividad, permite reducciones medibles de flujo térmico, consumo energético y firma infrarroja, ofreciendo una base sólida para estudios de laboratorio, modelado numérico y proyectos piloto científicamente justificados.

El enfoque también enfatiza la relevancia práctica de estrategias específicas por región, asegurando que las intervenciones se optimicen según clima local, densidad urbana y tipología edilicia. Esto mejora no solo el desempeño energético, sino también confort social y beneficios ecológicos, apoyando desarrollo urbano sostenible alineado con objetivos climáticos nacionales. Asimismo, la metodología proporciona base científica para adaptación potencial en escenarios especializados o extremos —como refugios temporales, infraestructura móvil y instalaciones urbanas críticas— sin ofrecer directrices operativas o tácticas, manteniendo un marco estrictamente de investigación.

En conjunto, el rigor científico y el valor aplicado de esta metodología subrayan su relevancia para planificación urbana contemporánea, desarrollo resiliente al clima e iniciativas de investigación basadas en evidencia, reforzando la importancia estratégica de enfoques interdisciplinarios para abordar desafíos técnicos y necesidades sociales y ambientales más amplias.

Conclusiones

- Las normas existentes de aislamiento térmico en Ucrania [1, 9] no consideran los requisitos específicos para el camuflaje mediante imágenes térmicas, dejando

vacíos en la consecución simultánea de eficiencia energética y sigilo infrarrojo de los edificios.

- El uso de materiales avanzados con resistencia térmica mejorada (valor R) superior a $3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ofrece un beneficio dual al reducir las pérdidas de calor y disminuir la detectabilidad infrarroja de las estructuras.
- La implementación de construcciones multilayer con $R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ combinadas con recubrimientos de baja emisividad ($\epsilon = 0,3-0,4$) permite reducir la firma infrarroja de los edificios entre un 45–50% y el consumo energético entre un 15–20%, al mismo tiempo que estabiliza los microclimas interiores y mejora el confort de los ocupantes.
- Las características regionales de las ciudades ucranianas (Járkov, Dnipró, Kyiv, Zaporíyia, Donetsk, Lugansk, Mariúpol) y de las comunidades (Lozova, Zmíiv, Chuhuiv, Izyum) demuestran que las condiciones climáticas locales, arquitectónicas y de planificación urbana influyen significativamente en la efectividad de las soluciones de baja emisividad. Por ejemplo, en áreas densamente urbanizadas de Járkov y Dnipró, la reducción potencial de las islas de calor locales alcanza un 12–18%, mientras que en distritos industriales de Kyiv y Zaporíyia, los ahorros de energía en calefacción pueden llegar al 15–20% sin comprometer el confort de los ocupantes.
- La metodología propuesta tiene doble aplicabilidad: en el sector civil, promueve la eficiencia energética, reduce la contaminación térmica y mejora la seguridad ecológica; en contextos especializados, ofrece potencial para el camuflaje térmico y aumenta la resiliencia de instalaciones estratégicas y críticas.
- El potencial relacionado con defensa se considera en un contexto científico, incluyendo la protección de infraestructuras críticas, refugios temporales y permanentes, módulos médicos y objetos móviles, sin proporcionar orientación práctica para eludir sistemas de vigilancia.
- El uso de materiales adaptativos con $\epsilon < 0,3$ y construcciones multilayer permite la creación de “envolventes dinámicas” para edificios y refugios móviles, mejorando significativamente la eficiencia energética, habilitando desempeño térmico modulable y ofreciendo beneficios ecológicos adicionales.
- La combinación de aislamiento térmico con tecnologías de baja emisividad constituye un enfoque interdisciplinario que integra aspectos técnicos, sociales, ecológicos y relacionados con defensa, lo cual es crítico para el desarrollo urbano sostenible y la mejora de la seguridad operativa.
- La investigación futura debe considerar cuidadosamente los aspectos regulatorios, éticos y legales de la implementación para garantizar un equilibrio responsable entre requerimientos civiles y especializados.

- Otras líneas de desarrollo incluyen validación experimental, integración de tecnologías de sensores y modelado matemático para gestión dinámica de parámetros térmicos, así como el desarrollo de recubrimientos adaptativos “inteligentes” con emisividad modulable.

Referencias

1. DBN V.2.6-31:2021. Aislamiento térmico de edificios. Kyiv: Ministerio de Desarrollo Regional de Ucrania, 2021. 98 pp.
2. ISO 6946:2017. Componentes y elementos de construcción – Resistencia térmica y transmitancia térmica.
3. Wang, L., Chen, Y., & Zhao, H. (2020). Tecnología de sigilo infrarrojo y gestión térmica para aplicaciones militares. *Journal of Materials Science & Technology*, 56, 45–60.
4. Li, J., Xu, R., & Zhang, Q. (2021). Avances en recubrimientos de baja emisividad para camuflaje térmico y eficiencia energética. *Progress in Materials Science*, 119, Artículo 100786.
5. Kucherenko, O. M., & Sukhomlyn, V. A. (2020). Resistencia térmica de las estructuras envolventes en los edificios modernos de Ucrania. *Teplofizika ta Teploenergetika*, 42(3), 45–52.
6. Oke, T. R. (1982). La base energética de la isla de calor urbana. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.
7. Santamouris, M. (2015). Análisis de la magnitud y características de las islas de calor en áreas urbanas. *Energy and Buildings*, 96, 1–11.
8. Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Zonas climáticas locales para estudios de temperatura urbana. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
9. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Climatología de la construcción. Kyiv: Ministerio de Construcción y Desarrollo Regional de Ucrania, 2010. 120 pp.

[FR_5]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Résistance thermique et camouflage des objets

Résumé

Cet article présente une approche innovante, interdisciplinaire et intégrée visant à atténuer les effets des îlots de chaleur urbains et à renforcer la protection des bâtiments ainsi que des infrastructures critiques contre la détection par les systèmes d'imagerie thermique. La méthodologie combine les normes contemporaines d'isolation thermique [1, 2] avec les avancées récentes dans les technologies de camouflage infrarouge et les revêtements à faible émissivité [3, 4]. Contrairement aux solutions d'ingénierie traditionnelles, cette approche associe les dimensions techniques, écologiques et sociales, en abordant simultanément l'efficacité énergétique, la résilience climatique et la création d'environnements sûrs et confortables pour les occupants.

L'étude comprend une analyse détaillée des conditions de fonctionnement sous fortes variations de température et évalue l'efficacité des matériaux à faible émissivité ($\varepsilon = 0,3-0,4$) dans la réduction des signatures thermiques de surface. Une attention particulière est portée à la comparaison entre les constructions d'époque soviétique ($R \approx 0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, $\varepsilon = 0,85$), qui offrent une protection minimale contre la détection infrarouge, et les systèmes multicouches modernes à résistance thermique accrue ($R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), capables de réduire la visibilité infrarouge des objets de 45 à 50 % [5].

Les résultats démontrent le potentiel considérable de l'approche proposée pour réduire simultanément la consommation énergétique (de 15 à 20 % en hiver), abaisser les charges thermiques sur l'environnement et maintenir un microclimat intérieur confortable. Dans les applications civiles, cela se traduit par une amélioration de la performance énergétique des bâtiments, une résilience climatique accrue et un développement urbain durable. Dans les contextes spécialisés, cette approche contribue à la dissimulation des structures vis-à-vis de la surveillance thermique, protégeant ainsi les infrastructures critiques, les abris temporaires et les modules d'intervention d'urgence.

La méthodologie proposée met en évidence la polyvalence et la multifonctionnalité des technologies modernes de masquage thermique, élargissant leur champ d'application au-delà des usages militaires ou spécialisés, vers des projets écologiques et socialement significatifs, notamment la réduction de la pollution thermique, l'optimisation de la consommation d'énergie et l'amélioration des conditions de vie urbaines.

Mots-clés: îlots de chaleur urbains, isolation thermique, efficacité énergétique, technologie de camouflage infrarouge, résilience climatique, impact social, masquage thermique, résistance thermique, effet écologique, applications de défense.

Introduction

Les technologies de masquage thermique et de gestion du rayonnement infrarouge (IR) constituent un domaine en plein essor, présentant un potentiel considérable tant pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments que pour la sécurité des infrastructures critiques. L'utilisation croissante de systèmes de surveillance satellitaires, aéroportés et terrestres renforce la nécessité de développer des matériaux innovants, des solutions structurelles et des méthodes analytiques capables de contrôler les signatures thermiques des objets et de réduire les risques de détection non souhaitée [3, 4]. Dans ce contexte, une approche interdisciplinaire et intégrée, associant les avancées en science des matériaux, en durabilité environnementale et en conception ingénierique, revêt une importance particulière pour répondre simultanément aux besoins civils et opérationnels spécialisés.

Les réglementations contemporaines du bâtiment et les normes internationales, telles que [1, 2], définissent des exigences minimales de résistance thermique (valeur R , $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) pour divers éléments structurels – par exemple, $R = 3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ pour les murs, planchers et éléments vitrés. Cependant, les approches conventionnelles tiennent rarement compte de la détectabilité infrarouge des bâtiments ni de leur influence sur la formation des îlots de chaleur urbains. L'utilisation de matériaux modernes à faible émissivité ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) et l'optimisation des constructions multicouches permettent d'atteindre une résistance thermique jusqu'à $R = 3,6$

$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, ce qui se traduit par une réduction significative du rayonnement thermique, une meilleure résilience des structures face aux variations brusques de température et des économies d'énergie mesurables [5].

Une approche globale de la gestion thermique repose sur la prise en compte de trois aspects interdépendants :

- **Impact environnemental**: le masquage thermique efficace réduit le transfert de chaleur vers l'environnement, atténue les effets des îlots de chaleur urbains, diminue la consommation énergétique et soutient les stratégies d'adaptation climatique [6, 7].
- **Impact social**: la stabilisation des températures intérieures et l'amélioration du microclimat favorisent des conditions de vie confortables, renforcent la santé, la productivité et la qualité de vie, tout en garantissant un accès équitable au confort thermique pour les populations vulnérables [8].
- **Perspective défensive et opérationnelle**: dans les applications spécialisées – infrastructures critiques, abris temporaires, modules d'intervention d'urgence ou installations militaires – le masquage thermique accroît la dissimulation face aux systèmes de surveillance infrarouge, améliorant la sécurité opérationnelle sans compromettre l'utilité civile [3].

Les recherches récentes soulignent la nature interdisciplinaire de cette problématique : la combinaison d'une résistance thermique élevée, de matériaux à faible émissivité et de la modélisation du transfert thermique permet d'optimiser la conception des bâtiments sous les angles écologique et social. L'intégration de telles solutions techniques renforce la résilience des infrastructures face aux fluctuations climatiques, réduit les charges thermiques sur l'environnement urbain et maintient des conditions intérieures confortables [4, 7]. Par ailleurs, ces approches ouvrent la voie à des applications à grande échelle dans la planification urbaine, le développement des villes intelligentes et l'architecture résiliente au climat.

Un avantage particulier de la méthodologie proposée réside dans sa double applicabilité. Dans les contextes civils, l'amélioration de l'isolation thermique et l'emploi de revêtements à faible émissivité contribuent à la réduction de la consommation d'énergie, à l'optimisation du microclimat intérieur et à la diminution de la charge thermique sur l'environnement, soutenant ainsi le développement urbain durable. Dans les contextes spécialisés – notamment les infrastructures militaires ou stratégiques – ces mêmes technologies renforcent la dissimulation, protègent les actifs critiques et assurent la sécurité des opérations d'urgence, illustrant la polyvalence d'une approche intégrée [3, 4].

En conclusion, l'application de stratégies modernes visant à accroître la résistance thermique et à utiliser des revêtements à faible émissivité établit une approche interdisciplinaire novatrice répondant simultanément aux exigences

d'efficacité énergétique, de durabilité environnementale et de bien-être social. La méthodologie proposée démontre un effet synergique : elle unit les objectifs civils d'efficacité et de confort énergétique aux finalités défensives de dissimulation, contribuant ainsi au développement de milieux urbains résilients, adaptés au climat et socialement responsables.

Matériaux et Méthodes

L'étude a été menée en plusieurs étapes selon une approche interdisciplinaire intégrant les exigences réglementaires en matière d'isolation thermique, les solutions matérielles avancées et la modélisation mathématique du transfert de chaleur. L'objectif principal de la méthodologie consistait en une évaluation globale de l'efficacité des matériaux à faible émissivité et des technologies de masquage thermique dans le contrôle de la signature infrarouge (IR) des bâtiments et des structures dans des conditions de fonctionnement variables.

Analyse des normes et des exigences réglementaires

Afin d'évaluer les standards relatifs à l'isolation thermique des enveloppes des bâtiments, une analyse approfondie des cadres réglementaires nationaux et internationaux a été réalisée. L'examen a porté sur la réglementation ukrainienne de la construction [1] ainsi que sur la norme internationale [2], qui, combinées, offrent une base comparative pour l'évaluation des performances thermiques des bâtiments dans différents contextes climatiques. Ces documents définissent la résistance thermique minimale (R , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) exigée pour les éléments structurels tels que les murs verticaux, les planchers, les toitures, les vitrages transparents et les portes extérieures.

L'adoption de ces valeurs normatives sert de point de référence pour l'évaluation de l'efficacité des revêtements à faible émissivité et des systèmes de construction multicouches, lesquels dépassent souvent les seuils minimaux établis par la réglementation. L'évaluation comparative de ces standards a permis de définir des critères de référence pour la performance thermique et d'identifier des perspectives d'amélioration de l'efficacité énergétique à travers l'utilisation de matériaux innovants et de solutions structurelles avancées.

À des fins de recherche, une résistance thermique cible élevée de $R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ a été proposée, dépassant les valeurs minimales réglementaires. Ce seuil représente un potentiel d'avancement dans la conception technique et l'application de matériaux performants, combinant une isolation thermique renforcée et une réduction des émissions de chaleur.

L'adoption de telles valeurs de référence permet également d'évaluer l'efficacité des revêtements à faible émissivité et des systèmes de construction multicouches dans des conditions réelles. Ces approches contribuent à l'atténuation des effets des îlots de chaleur urbains [6] et à la réduction de la détectabilité

infrarouge des bâtiments et infrastructures [5], réunissant ainsi des bénéfices à la fois écologiques, sociaux et sécuritaires.

Sélection des matériaux à faible émissivité

Afin de minimiser la signature thermique des surfaces des bâtiments et des autres éléments structurels, des matériaux présentant un faible coefficient d'émissivité thermique ($\varepsilon = 0,3-0,4$) ont été sélectionnés. Le processus de sélection s'est fondé sur plusieurs critères essentiels :

- ***Durabilité et stabilité thermique***: les matériaux devaient conserver leurs performances sous l'effet de cycles répétés de variations de température, garantissant ainsi la pérennité des propriétés d'isolation thermique dans le temps.
- ***Sécurité environnementale***: priorité aux matériaux non toxiques, non polluants et conformes aux principes de la construction durable.
- **Applicabilité pratique**: les matériaux choisis devaient être adaptés à une utilisation à grande échelle, tant dans la construction résidentielle qu'industrielle, tout en demeurant économiquement viables et faciles à mettre en œuvre.

Cette approche méthodologique associe des performances élevées en isolation thermique à des exigences écologiques et sociales, établissant un cadre interdisciplinaire qui dépasse les solutions d'ingénierie conventionnelles.

Modélisation mathématique du transfert de chaleur

Pour évaluer l'efficacité des constructions proposées, les équations classiques du transfert de chaleur ont été appliquées aux systèmes multicouches de l'enveloppe des bâtiments, conformément à la norme [2]. Le flux thermique à travers une couche structurelle individuelle est calculé selon l'équation (formule 1) :

$$Q = \frac{\Delta T_i}{\sum_i R_i} = \frac{T_{\text{intérieure}} - T_{\text{extérieure}}}{\sum_i R_i} \quad (1)$$

où :

- Q – flux thermique, en watts (W) ;
- $T_{\text{intérieure}}$ - température intérieure, en °C ;
- $T_{\text{extérieure}}$ - température extérieure, en °C ;
- R_i - *résistance* thermique de la couche considérée, en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

L'équation (1), définie dans [2], constitue la base théorique pour évaluer l'influence de la résistance thermique sur le transfert de chaleur global. Cette relation permet d'analyser comment l'augmentation de la résistance thermique (R), associée à des revêtements à faible émissivité, réduit les émissions thermiques de surface.

Les résultats ont montré que l'intégration de systèmes multicouches à haute résistance thermique et de traitements de surface à faible émissivité réduit significativement les pertes de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment. Cette diminution diminue la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation,

tout en atténuant l'intensité des îlots de chaleur urbains, renforçant ainsi la durabilité écologique et la résilience climatique [4, 7].

Applications de défense et spécialisées

Afin d'évaluer de façon exhaustive l'efficacité des solutions proposées, des essais ont été planifiés selon des scénarios pertinents pour les contextes civils et de défense, incluant les aspects suivants :

- ***Protection des infrastructures critiques:*** *évaluation des stratégies de masquage thermique et d'isolation pour les installations essentielles telles que les nœuds énergétiques, les sites de production et de distribution d'électricité, ainsi que d'autres structures stratégiquement importantes.*
- ***Dissimulation des abris temporaires et permanents:*** *analyse des mesures visant à réduire la détectabilité dans des conditions d'urgence, notamment lors de catastrophes naturelles ou d'événements climatiques extrêmes.*
- ***Sécurité accrue lors des opérations de sauvetage:*** *application des technologies de masquage thermique pour améliorer la sécurité opérationnelle et la connaissance de la situation des équipes d'intervention d'urgence.*

L'évaluation a utilisé les mêmes modèles de transfert de chaleur et les indicateurs d'émissivité infrarouge décrits précédemment. Les résultats ont été quantifiés en termes de réduction de la signature thermique et de la consommation énergétique globale, tout en excluant strictement toute information ou instruction susceptible de compromettre la sécurité opérationnelle ou de faciliter la neutralisation des systèmes de surveillance [3].

Pour illustrer la méthodologie et faciliter l'interprétation des résultats, l'étude a inclus les deux (tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques thermiques des enveloppes de bâtiment et des matériaux

Type de construction	Épaisseur des couches (mm)	Conductivité thermique λ (W/(m·K))	Résistance thermique R (m ² ·K/W)	Facteur d'émissivité ϵ
Panneau mural + isolation	300 + 100	0,6 + 0,04	3,6	0,3
Structure de fenêtre	4+24+4+24+4	0,04+1,1+0,04+1,1+0,04	0,9	0,85
Portes d'entrée / balcon	40	0,15	0,3	0,3

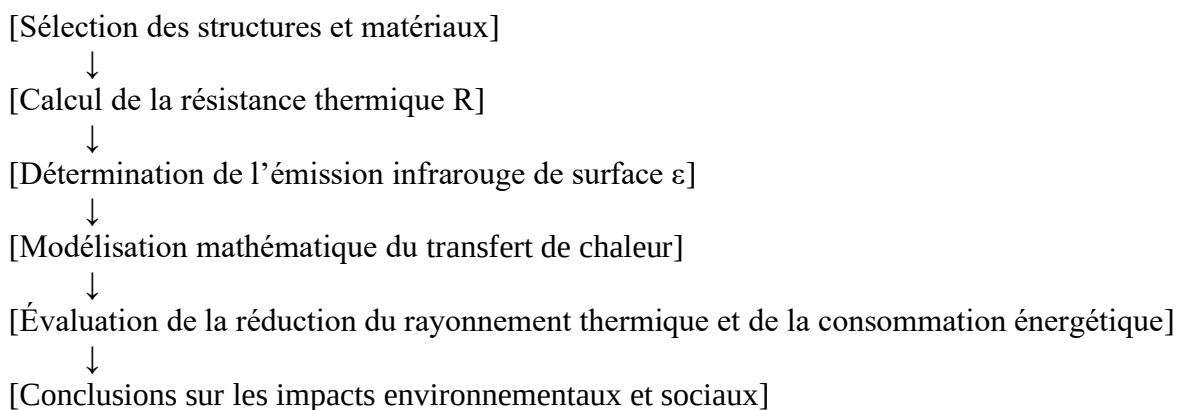
Source : Élaboration de l'auteur d'après [1, 2]

Le tableau 1 présente une vue comparative des performances thermiques de différentes configurations d'enveloppes de bâtiment, mettant en évidence l'influence des constructions multicouches et des matériaux à faible émissivité sur le transfert de chaleur. Ces résultats confirment la contribution significative de l'ingénierie

thermique avancée à la réduction de la signature infrarouge, à l'efficacité énergétique et à la protection des infrastructures critiques dans divers contextes.

Interprétation des résultats et transition méthodologique

Les données présentées dans le tableau 1 constituent la base pour l'évaluation procédurale subséquente. Afin de réaliser une analyse plus approfondie de l'application pratique des propriétés physiques et techniques des matériaux, un cadre méthodologique structuré a été développé (Fig. 1).



Source : Élaboration de l'auteur

Fig. 1. Méthodologie d'évaluation de l'efficacité du masquage thermique et de la réduction de la consommation énergétique

Le cadre proposé fournit une évaluation globale de l'influence combinée de la résistance thermique et des revêtements à faible émissivité sur l'efficacité énergétique et la réduction de la signature thermique. Il offre un processus quantitatif étape par étape pour l'analyse du transfert de chaleur, de l'émission infrarouge et de leurs implications environnementales et sociales.

La structure de la méthodologie garantit une relation causale claire entre les caractéristiques des matériaux et les résultats de l'analyse opérationnelle, établissant ainsi une transition cohérente entre les paramètres statiques et l'évaluation dynamique des performances dans des conditions réelles de fonctionnement.

Chaque étape de la recherche reflète une séquence logique de procédures analytiques intégrant les exigences réglementaires, les caractéristiques physico-techniques des matériaux et la modélisation mathématique des phénomènes de transfert thermique.

L'application de cette approche confirme que l'isolation thermique à haute performance, combinée à des revêtements à faible émissivité, offre des avantages pratiques tangibles dans plusieurs domaines.

Dans le secteur civil, ces mesures contribuent à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, à optimiser le microclimat intérieur et à atténuer les effets des îlots de chaleur urbains.

Dans les contextes spécialisés de défense et d'urgence, les mêmes principes assurent la dissimulation stratégique des structures et renforcent la sécurité opérationnelle, soulignant l'importance multifonctionnelle et interdisciplinaire de la méthodologie proposée [3, 4].

Évaluation de l'impact environnemental et social :

En complément des indicateurs de performance technique, les avantages liés à l'utilisation de matériaux à résistance thermique améliorée et à faible émissivité ont été évalués selon des perspectives environnementales et sociales. Les principaux aspects de cette évaluation comprennent :

- ***Réduction de la charge thermique sur l'environnement adjacent:*** L'utilisation de matériaux à faible émissivité combinée à des enveloppes de bâtiments à haute résistance thermique contribue à l'atténuation de la pollution thermique. Cela réduit l'intensité des îlots de chaleur urbains et limite le stress thermique sur les écosystèmes voisins [6, 7].
- ***Conservation de l'énergie et réduction des émissions de CO₂:*** L'amélioration de l'isolation thermique diminue la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation, entraînant une réduction mesurable de la consommation énergétique globale et des émissions de gaz à effet de serre associées. Cela soutient les objectifs généraux de lutte contre le changement climatique et contribue au développement urbain durable [4, 5].
- ***Amélioration du confort des occupants:*** La performance thermique optimisée stabilise le microclimat intérieur, offrant aux résidents des conditions de température uniformes et confortables. Cela améliore le bien-être général, la productivité, la santé et la satisfaction des occupants, tant dans les bâtiments résidentiels que commerciaux [8].

Ainsi, la méthodologie intègre les dimensions technique, environnementale et sociale, permettant une évaluation holistique de la performance des bâtiments. Au-delà des simples indicateurs d'efficacité énergétique, cette approche offre des perspectives sur l'impact écologique global des matériaux et conceptions architecturales, ainsi que sur la qualité de vie des habitants.

Le cadre d'évaluation combiné met en évidence le potentiel du développement urbain durable, démontrant que les stratégies modernes de gestion thermique peuvent simultanément promouvoir l'efficacité énergétique, la protection de l'environnement et le bien-être social. Cette approche intégrée, réunissant des objectifs civils, environnementaux et liés à la défense, établit la méthodologie proposée comme à la fois rigoureusement scientifique et pratiquement applicable

dans un large éventail de contextes, incluant la planification urbaine stratégique et la conception de systèmes urbains résilients face au climat [3, 7].

Résultats

Les études de simulation et de modélisation démontrent un impact significatif de l'amélioration de la résistance thermique et de l'application de matériaux à faible émissivité sur la réduction de l'empreinte thermique des bâtiments et la consommation énergétique globale. Les paramètres clés incluent une résistance thermique standard (valeur R) de $3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ et une valeur améliorée, expérimentale et prédictive, de $3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, tandis que les coefficients d'émissivité des matériaux variaient entre 0,3 et 0,85. Les résultats de modélisation indiquent que la combinaison d'une valeur R de $3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ avec des revêtements à faible émissivité ($\varepsilon \approx 0,3$) peut réduire potentiellement l'empreinte infrarouge des structures de 45 à 50 %, diminuer le flux thermique à travers les enveloppes de bâtiments, permettre des économies d'énergie de 15 à 20 % pendant la période hivernale et stabiliser les températures internes, améliorant ainsi le confort des occupants.

Une attention particulière a été accordée aux simulations régionales reflétant des conditions climatiques, architecturales et d'urbanisme diverses dans les villes et communes ukrainiennes. Les simulations réalisées pour Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, Mariupol, ainsi que pour les municipalités de Lozova, Zmiiv, Chuhuiv et Izyum, ont montré que les conditions locales influencent fortement l'efficacité des solutions à faible émissivité. Par exemple, dans les quartiers densément construits de Kyiv et Kharkiv, les réductions potentielles des îlots de chaleur urbains locaux atteignent 12 à 18 % grâce à l'adoption généralisée de revêtements à faible émissivité et à l'augmentation des valeurs R , tandis que dans les zones industrielles de Dnipro et Zaporizhzhia, les économies d'énergie pour le chauffage modélisées varient de 15 à 20 % sans compromettre le microclimat intérieur des résidents. Dans les communes de Lozova et Chuhuiv, les réductions potentielles des charges thermiques sur les bâtiments individuels sont estimées à 25–30 %, soulignant l'importance de la modélisation spécifique au contexte.

Les simulations de scénarios appliqués potentiels pour des abris temporaires, des modules médicaux mobiles et des infrastructures critiques ont indiqué une diminution significative des empreintes thermiques relatives—jusqu'à 40–50 %—et une préservation stable des performances d'isolation thermique dans des conditions externes extrêmes (par exemple -30°C à l'extérieur, $+20^\circ\text{C}$ à l'intérieur). Il est précisé que ces résultats reposent sur des simulations numériques et non sur des essais sur le terrain, reflétant l'efficacité potentielle de la méthodologie dans un contexte scientifique et de conception plutôt que dans un déploiement opérationnel.

L'étude souligne également le potentiel d'utilisation de matériaux de construction étrangers strictement dans le cadre de la recherche scientifique.

L'approvisionnement et le test de ces matériaux sur des structures réelles doivent être réalisés exclusivement dans le cadre d'activités de recherche et en conformité avec la législation nationale, les autorisations réglementaires, les restrictions à l'exportation et les exigences éthiques. Tous les calculs et simulations illustrent la réduction potentielle du rayonnement thermique et de la consommation énergétique sans fournir d'instructions opérationnelles pour un usage civil ou militaire.

Dans l'ensemble, l'application combinée d'une résistance thermique améliorée et de revêtements à faible émissivité démontre un potentiel élevé pour atteindre simultanément l'efficacité énergétique, réduire les émissions infrarouges et atténuer la pollution thermique. La modélisation étendue, tenant compte des caractéristiques régionales, confirme que les matériaux innovants modernes et les constructions multicouches peuvent améliorer considérablement les performances environnementales et le confort des occupants, établissant une base solide pour des investigations scientifiques et expérimentales ultérieures.

Parmi les directions prometteuses pour les recherches futures figurent le développement de matériaux à coefficients d'émissivité $<0,3$, la mise en œuvre de solutions adaptatives aux propriétés thermiques modulables et l'intégration de technologies de capteurs et de modélisation computationnelle pour gérer les paramètres thermiques. Ces approches permettent de créer des « enveloppes dynamiques » pour bâtiments et abris mobiles, améliorant l'efficacité énergétique et le potentiel de camouflage thermique dans la recherche scientifique [3, 5, 7].

Par conséquent, une évaluation complète englobant les aspects techniques, environnementaux, sociaux et scientifiques confirme à la fois la nouveauté et la pertinence appliquée de la méthodologie proposée. Elle permet une évaluation simultanée du potentiel d'économie d'énergie, de l'impact environnemental et de l'efficacité de la réduction de l'empreinte thermique, la rendant particulièrement pertinente pour l'urbanisme contemporain, le développement durable et la recherche scientifique dans le contexte des conditions climatiques locales et régionales.

Discussion

1. Amélioration de la résistance thermique et matériaux à faible émissivité

L'amélioration de la résistance thermique des composants des enveloppes de bâtiments, combinée à l'application de matériaux à faible émissivité (low-e), constitue une stratégie globale pour la gestion de l'efficacité énergétique dans les constructions modernes, tout en apportant des bénéfices environnementaux et sociaux significatifs. Cette approche à double objectif permet de réduire à la fois les pertes de chaleur et la consommation énergétique globale, ainsi que de stabiliser les microclimats intérieurs, essentiels pour le confort et le bien-être des occupants. L'intégration de structures multicouches à haute résistance thermique (valeur R) avec des revêtements de surface à faible émissivité ($\varepsilon = 0,3-0,4$) réduit efficacement

le rayonnement thermique des surfaces et minimise les flux de chaleur vers l'environnement adjacent, conformément aux réglementations nationales [1] et aux normes internationales [2].

Ces technologies sont utiles pour atténuer les effets des fluctuations de température externe. En réduisant les charges thermiques sur les bâtiments et leurs occupants, elles maintiennent des conditions intérieures stables, diminuant les risques de stress thermique et d'inconfort physiologique ou psycho-émotionnel. L'utilisation de matériaux à faible émissivité réduit le rayonnement infrarouge des surfaces, contribuant à limiter l'intensité des îlots de chaleur urbains et la pollution thermique locale. Cette approche améliore la performance thermique des bâtiments tout en soutenant des objectifs plus larges de durabilité urbaine, intégrant efficacité énergétique, santé humaine et protection de l'environnement.

Les revêtements low-e avancés et les constructions multicouches à haute valeur R permettent un contrôle précis de la dynamique de transfert de chaleur. Leur déploiement permet des solutions adaptées aux conditions climatiques, à la typologie des bâtiments et aux exigences fonctionnelles, offrant un cadre évolutif applicable aux infrastructures résidentielles, commerciales et publiques. L'évaluation scientifique de tels systèmes montre que même des améliorations incrémentales des valeurs R et des coefficients d'émissivité peuvent générer des gains mesurables en confort des occupants, économies d'énergie et réduction des émissions thermiques, constituant une base solide pour des recherches expérimentales ultérieures et la validation de modèles dans le contexte scientifique ukrainien.

2. Applications civiles dans les villes ukrainiennes

Dans les contextes urbains de Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk et Mariupol, l'amélioration de la résistance thermique combinée aux revêtements low-e peut réduire significativement la consommation énergétique de différents types de bâtiments, incluant les installations résidentielles, commerciales et publiques. Dans les quartiers densément construits de Kharkiv et Dnipro, l'optimisation des enveloppes multicouches permet une diminution mesurable de l'intensité des îlots de chaleur urbains locaux, la stabilisation des microclimats de quartier et l'amélioration de la qualité de l'air. Cela contribue à atténuer le stress thermique sur les habitants et les écosystèmes urbains adjacents, favorisant des environnements urbains plus sains et résilients.

Dans des villes comme Kyiv et Zaporizhzhia, où les complexes résidentiels en hauteur coexistent avec des installations industrielles étendues, l'application de matériaux à faible émissivité et de solutions d'isolation avancées réduit le rayonnement thermique des structures industrielles et des bâtiments à forte consommation énergétique. Ces interventions améliorent non seulement l'efficacité énergétique globale, mais réduisent également les coûts opérationnels des systèmes

de chauffage, ventilation et climatisation, contribuant à la durabilité et à la résilience à long terme des infrastructures urbaines.

Les zones urbaines post-conflit ou en première ligne, telles que Donetsk, Luhansk et Mariupol, présentent des défis et opportunités spécifiques. Après la libération et la reconstruction, l'intégration de systèmes d'enveloppe à haute valeur R et de revêtements low-e offre des bénéfices doubles : garantir un fonctionnement écoénergétique des bâtiments civils tout en améliorant la résilience et le camouflage des infrastructures critiques. Dans ces contextes, la réduction de l'empreinte thermique devient un facteur essentiel pour la sécurité opérationnelle, facilitant une récupération, reconstruction et habitation plus sûres dans des environnements sensibles aux menaces potentielles.

Par ailleurs, la modélisation régionale montre que l'efficacité des stratégies de gestion thermique dépend des conditions climatiques locales, de la densité des bâtiments et des caractéristiques d'urbanisme. Dans les zones à forte exposition solaire et à canopée urbaine dense, l'adoption de solutions multicouches low-e peut réduire les températures de surface locales de 11 à 16 %, atténuant les îlots de chaleur urbains. Dans les zones industrielles, des économies d'énergie de 14 à 18 % pour le chauffage et la climatisation sont prévues sans compromettre le confort intérieur. Ces résultats mettent en évidence le potentiel de stratégies d'enveloppe sur mesure pour soutenir le développement urbain durable et répondre aux défis environnementaux et sociotechniques des villes ukrainiennes.

3. Applications de défense et spécialisées

Dans des scénarios spécialisés—des interventions d'urgence aux opérations militaires et de protection civile—l'amélioration de la résistance thermique des enveloppes et l'usage de revêtements low-e peuvent réduire l'empreinte infrarouge des bâtiments et unités mobiles. Cela entraîne un flux de rayonnement longue longueur d'onde plus faible depuis les surfaces traitées, qui, combiné à une isolation multicouche, diminue le contraste thermique entre un objet et son environnement. Dans les études de modélisation, cette réduction de contraste implique une détectabilité moindre par les systèmes d'imagerie thermique selon les enveloppes et hypothèses capteurs spécifiées. Il est essentiel de souligner que ce travail repose sur des simulations ; aucune expérimentation sur le terrain n'a été effectuée et aucune consigne pour éviter la surveillance n'est donnée. Les conclusions sont présentées dans un cadre scientifique et de conception, sous contrôle éthique et légal [3, 5].

Pratiquement, cette approche est pertinente pour divers types d'actifs : abris temporaires et permanents, modules médicaux mobiles, hubs logistiques et de stockage sur le terrain, plateformes de transport. Dans les environnements urbains denses comme Kharkiv et Dnipro, la capacité à diminuer l'émission de surface est particulièrement précieuse, car le tissu urbain produit des arrière-plans thermiques

complexes ; les scénarios de simulation pour ces villes indiquent que des systèmes multicouches low-e correctement conçus peuvent réduire le contraste thermique modélisé d'une structure de manière significative par rapport aux enveloppes conventionnelles, améliorant la survivabilité des infrastructures critiques lors d'événements défavorables tout en réduisant les charges énergétiques des bâtiments.

Dans les localités en première ligne ou post-conflit — Donetsk, Luhansk et Mariupol — les mêmes mesures techniques, si étudiées et appliquées dans le cadre de programmes scientifiques autorisés, peuvent renforcer la résilience des abris et infrastructures vitales en maintenant un climat intérieur acceptable avec une demande de chauffage réduite et en diminuant la visibilité infrarouge modélisée des bâtiments dans certaines conditions environnementales. Dans les centres industriels et capitales comme Kyiv et Zaporizhzhia, elles peuvent aussi soutenir la protection des nœuds énergétiques et installations majeures en contribuant à la stabilité thermique et à la réduction du rayonnement de chaleur des composants clés.

D'un point de vue R&D, plusieurs considérations déterminent l'applicabilité et la maturité des technologies de camouflage thermique. Premièrement, la modélisation des performances doit être couplée à une caractérisation rigoureuse en laboratoire des matériaux candidats—conductivité thermique, chaleur spécifique, émissivité dans la bande 8–14 µm, vieillissement et comportement face aux intempéries, sécurité incendie et durabilité mécanique. Deuxièmement, des expérimentations sur le terrain contrôlées (réalisées dans le cadre de protocoles de recherche autorisés et en coordination avec les autorités civiles) sont nécessaires pour valider les résultats numériques face à la variabilité météorologique, aux interactions radiatives complexes et aux caractéristiques des capteurs. Troisièmement, l'analyse du cycle de vie (y compris l'énergie incorporée et la fin de vie) et les évaluations de sécurité environnementale sont requises pour garantir que les matériaux sélectionnés pour leurs performances thermiques ne présentent pas de coûts écologiques ou sanitaires inacceptables.

Les garanties éthiques, légales et institutionnelles requièrent une attention explicite. Comme les technologies de gestion thermique peuvent avoir des implications à double usage, tout test, approvisionnement ou adaptation opérationnelle doit s'effectuer uniquement dans le cadre de programmes scientifiques approuvés, sous supervision transparente des autorités compétentes et conformément aux réglementations d'exportation/importation et aux cadres de sécurité nationale. Les recommandations du manuscrit sont présentées comme conclusions scientifiques et orientations d'ingénierie pour la recherche, la conception, la planification de la résilience et la protection humanitaire, et non comme pratiques opérationnelles visant à contourner une surveillance légitime.

Enfin, l'intégration des mesures de camouflage thermique avec des réseaux de capteurs, la surveillance environnementale et les systèmes de contrôle adaptatif augmente leur utilité dans des contextes spécialisés. Par exemple, la combinaison de surfaces à faible émissivité avec un contrôle climatique passif ou actif et la télémétrie en temps réel permet aux infrastructures de maintenir le confort des occupants tout en minimisant l'émission thermique externe inutile ; ces systèmes intégrés constituent des sujets appropriés pour la R&D collaborative entre scientifiques des matériaux, ingénieurs du bâtiment, planificateurs d'urgence et autorités civiles. En résumé, lorsqu'elles sont poursuivies comme travaux scientifiques et techniques réglementés, la combinaison de valeurs R élevées et de technologies low-e offre un ensemble d'outils prometteur et éthiquement encadré pour améliorer la résilience, la performance énergétique et la capacité protectrice des infrastructures dans les contextes urbains et régionaux diversifiés de l'Ukraine.

4. Intégration des normes et des solutions innovantes

Un aspect clé de la conception moderne des bâtiments consiste à intégrer les codes de construction établis et les normes internationales [1, 2] avec les exigences techniques émergentes liées au masquage thermique. Les stratégies d'isolation conventionnelles permettent d'atteindre de manière fiable une efficacité énergétique de base, en réduisant les charges de chauffage et de refroidissement selon les valeurs R prescrites. Toutefois, la réduction de la visibilité infrarouge nécessite des assemblages multicouches et des revêtements adaptatifs à émissivité modulable, permettant aux surfaces de moduler dynamiquement l'émission radiative de chaleur en fonction des conditions environnementales. Ces solutions dépassent la simple gestion thermique conventionnelle, offrant la possibilité de concilier conservation de l'énergie, protection environnementale et exigences opérationnelles spécialisées au sein d'un cadre de conception unifié.

La combinaison de la conformité normative et de l'innovation matérielle établit une stratégie multidisciplinaire reliant urbanisme, objectifs écologiques et protection. En milieu urbain, cette approche permet aux architectes et ingénieurs de réduire les effets d'îlot de chaleur tout en maintenant un confort intérieur optimal. Des simulations dans des villes ukrainiennes, telles que Kharkiv, Kyiv, Dnipro, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk et Mariupol, montrent que des systèmes multicouches à faible émissivité bien calibrés peuvent diminuer l'émission thermique des surfaces jusqu'à 50 %, stabiliser les températures internes et améliorer la performance énergétique des bâtiments dans diverses conditions climatiques.

Du point de vue de la recherche scientifique, l'intégration des normes avec des solutions innovantes fournit aussi une base méthodologique pour les études en laboratoire et en modélisation. Les matériaux et configurations structurelles candidats peuvent être testés *in silico* dans divers scénarios, tenant compte des

fluctuations saisonnières de température, de l'irradiation solaire et de la morphologie urbaine locale. Les revêtements adaptatifs à émissivité modulable permettent notamment d'explorer le contrôle dynamique des signatures thermiques, simulant la réaction des bâtiments ou structures temporaires aux variations environnementales sans déploiement réel sur le terrain. Cette capacité est précieuse dans le contexte ukrainien, où les différences régionales de climat, de densité de population et d'infrastructure exigent des stratégies énergétiques et environnementales adaptées.

De plus, cette intégration soutient les objectifs de durabilité. En combinant conformité aux codes de construction et techniques innovantes de masquage thermique, les concepteurs peuvent réduire la consommation énergétique, atténuer les impacts environnementaux négatifs et améliorer le confort des occupants. L'approche favorise également la collaboration interdisciplinaire entre scientifiques des matériaux, ingénieurs du bâtiment, écologues urbains et autorités locales, établissant un cadre pour le développement de solutions thermiques fondé sur la recherche et conduit de manière éthique.

En somme, le lien entre normes, matériaux de pointe et stratégies adaptatives constitue une méthodologie holistique qui répond aux défis techniques, environnementaux et opérationnels, renforçant la capacité de l'Ukraine à développer des environnements urbains durables, résilients et scientifiquement informés.

5. Perspectives et approches innovantes

Les axes prometteurs pour la recherche incluent la création de matériaux avec des coefficients d'émissivité inférieurs à 0,3, la mise en œuvre de solutions adaptatives ajustant dynamiquement les propriétés thermiques selon l'environnement, et l'intégration de la modélisation mathématique avec des capteurs pour un contrôle en temps réel des émissions thermiques. Ces avancées soutiennent le développement d'«enveloppes dynamiques» pour bâtiments, abris et infrastructures mobiles, améliorant l'efficacité énergétique, la dissimulation opérationnelle et la performance écologique. En permettant aux surfaces de réagir intelligemment aux variations du rayonnement solaire, de la température ambiante et d'autres facteurs, ces matériaux ouvrent de nouvelles perspectives interdisciplinaire à l'intersection des sciences des matériaux, de la physique du bâtiment et du génie environnemental.

La prise en compte des caractéristiques climatiques régionales des villes et communautés ukrainiennes — Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, Mariupol, ainsi que Lozova, Zmiiv, Chuhuiv et Izyum — permet de concevoir des stratégies locales de gestion thermique et de masquage. Celles-ci intègrent densité urbaine, activité industrielle, topographie et microclimat, améliorant l'efficacité des solutions à faible émissivité et des constructions à haute valeur R. Par exemple, des systèmes multicouches adaptatifs dans les quartiers

denses atténuent les îlots de chaleur, tandis que dans les zones post-conflit ou frontalières, des technologies similaires minimisent la visibilité thermique et optimisent la consommation énergétique, dans un cadre de recherche.

De plus, la combinaison de matériaux dynamiques et de modélisation prédictive permet des simulations scénarisées qui informent des recommandations pour l'urbanisme, le développement des infrastructures et des systèmes énergétiques résilients. En reliant les données de capteurs en temps réel aux modèles computationnels, les chercheurs peuvent prédire la performance des bâtiments lors des cycles saisonniers et des événements météorologiques extrêmes, optimisant ainsi l'efficacité thermique et l'impact écologique sans déploiement sur le terrain dans des zones sensibles ou à risque.

Dans l'ensemble, ces orientations innovantes font progresser la compréhension scientifique de la gestion thermique et de la conservation énergétique, tout en fournissant des informations exploitables pour décideurs, architectes et urbanistes. Elles soulignent le potentiel d'une approche holistique, adaptable et rigoureusement scientifique, qui équilibre efficacité énergétique, confort des occupants, protection environnementale et résilience stratégique, renforçant la capacité de recherche et d'innovation de l'Ukraine dans les technologies avancées du bâtiment.

6. Impact social et environnemental

La méthodologie proposée offre des bénéfices sociaux et environnementaux, soulignant l'interdépendance entre le bien-être humain, la qualité de vie urbaine et la durabilité écologique. Les caractéristiques thermiques optimisées stabilisent les microclimats intérieurs, améliorant le confort des occupants, réduisant le stress thermique et soutenant la santé et le bien-être psychologique. En assurant des températures plus uniformes, ces approches contribuent à la qualité de vie, notamment dans les zones urbaines denses ou climatiquement difficiles.

L'utilisation de matériaux à faible émissivité et à haute résistance thermique joue un rôle clé dans l'atténuation des îlots de chaleur urbains, réduisant le transfert de chaleur vers l'environnement et abaissant les températures de surface dans les zones densément urbanisées. Ces matériaux diminuent la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation, réduisant les émissions de CO₂ et soutenant les objectifs climatiques. Dans des villes comme Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk et Mariupol, ainsi que dans des localités plus petites comme Lozova, Zmiiv, Chuhuiv et Izyum, l'application stratégique d'isolation et de revêtements low-e peut réduire les flux de chaleur locaux de 12 à 30 %, selon la densité urbaine, la typologie des bâtiments et le climat.

Au-delà de l'efficacité énergétique et environnementale, la méthodologie favorise la résilience sociale. En stabilisant les climats intérieurs et réduisant le stress thermique, elle améliore confort, productivité et sécurité, notamment pour les

populations vulnérables en zones urbaines et semi-urbaines. La diminution de la pollution thermique préserve également les microécosystèmes locaux, protégeant la flore et la faune urbaines des variations thermiques extrêmes.

Dans l'ensemble, l'intégration des considérations techniques, sociales et écologiques fournit un cadre holistique pour le développement urbain durable. Cette approche montre que les stratégies de construction avancées ne sont pas seulement des outils d'efficacité énergétique, mais aussi des instruments pour améliorer le bien-être humain, la qualité environnementale et la résilience urbaine. Elle s'aligne sur les priorités nationales et les objectifs internationaux de développement durable, renforçant le rôle des innovations scientifiquement fondées dans une planification urbaine adaptable au climat et socialement équitable [4, 5, 7].

Cette discussion élargie souligne l'impact interdisciplinaire des technologies de gestion thermique, mettant en évidence leur pertinence pour la recherche, la politique et les applications pratiques dans les villes et communautés ukrainiennes, tout en conservant un cadre strictement scientifique et non opérationnel.

7. Nouveauté scientifique et pertinence pratique

La méthodologie proposée apporte une nouveauté scientifique en intégrant des aspects techniques, environnementaux, sociaux et de protection dans un cadre unifié pour la conception des bâtiments et la planification urbaine. Contrairement aux approches conventionnelles centrées sur l'efficacité énergétique, elle considère plusieurs dimensions interconnectées : réduction des émissions thermiques, atténuation des îlots de chaleur urbains, amélioration des microclimats intérieurs et renforcement de la résilience des infrastructures critiques.

D'un point de vue pratique, la méthodologie fournit des recommandations basées sur des preuves pour les architectes, urbanistes et chercheurs souhaitant mettre en œuvre des solutions énergétiquement efficaces et durables dans les villes ukrainiennes telles que Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk et Mariupol, ainsi que dans des communautés plus petites comme Lozova, Zmiiv, Chuhuiv et Izyum. En combinant des constructions multicouches à haute résistance thermique avec des revêtements à faible émissivité, elle permet des réductions mesurables des flux de chaleur, de la consommation d'énergie et de l'empreinte infrarouge, offrant une base solide pour les études de laboratoire futures, la modélisation numérique et des projets pilotes scientifiquement justifiés.

L'approche souligne également la pertinence pratique de stratégies adaptées aux conditions régionales, garantissant que les interventions sont optimisées selon le climat, la densité urbaine et la typologie des bâtiments. Cela améliore la performance énergétique, le confort social et les bénéfices écologiques, soutenant un développement urbain durable conforme aux objectifs climatiques nationaux. De plus, la méthodologie offre une base scientifique pour une adaptation dans des

scénarios spécialisés ou extrêmes—tels que des abris temporaires, infrastructures mobiles ou installations urbaines critiques—sans fournir de directives opérationnelles, maintenant un cadre centré sur la recherche.

Dans l'ensemble, la rigueur scientifique et la valeur appliquée de cette méthodologie soulignent sa pertinence pour la planification urbaine, le développement résilient au climat et les recherches fondées sur des preuves, renforçant l'importance des approches interdisciplinaires pour relever les défis techniques et répondre aux besoins sociétaux et environnementaux.

Conclusions

- Les normes actuelles d'isolation thermique en Ukraine [1, 9] ne considèrent pas les exigences liées au camouflage pour l'imagerie thermique, laissant des lacunes dans l'efficacité énergétique et la furtivité infrarouge des bâtiments.
- L'utilisation de matériaux avancés à résistance thermique renforcée (valeur R) supérieure à $3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ offre un double bénéfice en réduisant les pertes de chaleur et en diminuant la détectabilité infrarouge des structures.
- La mise en œuvre de constructions multicouches avec $R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ et des revêtements à faible émissivité ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) réduit l'empreinte infrarouge des bâtiments de 45 à 50 % et la consommation énergétique de 15 à 20 %, tout en stabilisant les microclimats intérieurs et en améliorant le confort des occupants.
- Les caractéristiques régionales des villes ukrainiennes (Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, Mariupol) et des communautés (Lozova, Zmiiv, Chuhuiv, Izyum) montrent que les conditions climatiques, architecturales et d'urbanisme locales influencent l'efficacité des solutions low-e. Par exemple, dans les zones densément bâties de Kharkiv et Dnipro, la réduction des îlots de chaleur urbains locaux atteint 12 à 18 %, tandis que dans les quartiers industriels de Kyiv et Zaporizhzhia, les économies d'énergie pour le chauffage peuvent atteindre 15 à 20 % sans compromettre le confort des occupants.
- La méthodologie proposée présente une double applicabilité : dans le secteur civil, elle améliore l'efficacité énergétique, réduit la pollution thermique et renforce la sécurité écologique ; dans les contextes spécialisés, elle permet le camouflage thermique et augmente la résilience des infrastructures critiques.
- Le potentiel lié à la défense est examiné dans un contexte scientifique, incluant la protection des infrastructures critiques, d'abris temporaires et permanents, de modules médicaux et d'objets mobiles, sans fournir de directives pour contourner les systèmes de surveillance.
- L'utilisation de matériaux adaptatifs avec $\varepsilon < 0,3$ et de constructions multicouches permet de créer des « enveloppes dynamiques » pour bâtiments et abris mobiles, améliorant l'efficacité énergétique, offrant une performance thermique modulable et des bénéfices écologiques supplémentaires.

- La combinaison d'une isolation thermique avec des technologies low-e constitue une approche interdisciplinaire intégrant des aspects techniques, sociaux, écologiques et liés à la défense, essentielle pour un développement urbain durable et une sécurité opérationnelle renforcée.
- Les recherches futures devraient prendre en compte les aspects réglementaires, éthiques et légaux pour garantir un équilibre responsable entre les exigences civiles et spécialisées.
- Les orientations futures incluent la validation expérimentale, l'intégration des technologies de capteurs et de la modélisation mathématique pour la gestion dynamique des paramètres thermiques, ainsi que le développement de revêtements adaptatifs « intelligents » à émissivité modulable.

Références

1. DBN V.2.6-31:2021. Isolation thermique des bâtiments. Kyiv : Ministère du Développement régional de l'Ukraine, 2021. 98 p.
2. ISO 6946:2017. Composants et éléments de bâtiment – Résistance thermique et transmission thermique.
3. Wang, L., Chen, Y., & Zhao, H. (2020). Infrared stealth technology and thermal management for military applications. *Journal of Materials Science & Technology*, 56, 45–60.
4. Li, J., Xu, R., & Zhang, Q. (2021). Advances in low-emissivity coatings for thermal camouflage and energy efficiency. *Progress in Materials Science*, 119, Article 100786.
5. Kucherenko, O. M., & Sukhomlyn, V. A. (2020). Résistance thermique des structures d'enveloppe dans les bâtiments modernes d'Ukraine. *Teplofizika ta Teploenergetika*, 42(3), 45–52.
6. Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.
7. Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in urban areas. *Energy and Buildings*, 96, 1–11.
8. Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
9. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Climatologie du bâtiment. Kyiv : Ministère de la Construction et du Développement régional de l'Ukraine, 2010. 120 p.

[DE_5]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Hitzebeständigkeit und Objekt-Tarnung

Abstract

Dieser Artikel präsentiert einen innovativen, interdisziplinären Ansatz zur Minderung des städtischen Wärmeinseleffekts und zum Schutz von Gebäuden sowie kritischer Infrastruktur vor thermischer Detektion. Die Methodik integriert moderne Wärmedämmstandards [1, 2] mit Entwicklungen in Infrarot-Tarntechnologien und Niedrigemissionsbeschichtungen [3, 4]. Im Gegensatz zu traditionellen Ingenieuransätzen kombiniert dieser Ansatz technische, ökologische und soziale Dimensionen und adressiert Energieeffizienz, Klimaresilienz sowie die Schaffung sicherer und komfortabler Umgebungen für die Nutzer.

Die Studie umfasst eine detaillierte Analyse der Betriebsbedingungen bei starken Temperaturschwankungen und bewertet die Wirksamkeit von Niedrigemissionsmaterialien ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) zur Reduzierung thermischer Oberflächensignaturen. Besonderes Augenmerk liegt auf dem Vergleich zwischen traditionellen Bauten aus der Sowjetzeit ($R \approx 0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, $\varepsilon = 0,85$), die nur minimalen Schutz vor Infrarotdetektion bieten, und modernen Mehrschichtsystemen mit erhöhter Wärmeresistenz ($R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), die die Infrarotsichtbarkeit von Objekten um 45–50 % reduzieren können [5].

Die Ergebnisse zeigen das erhebliche Potenzial des vorgeschlagenen Ansatzes, den Energieverbrauch gleichzeitig zu senken (um 15–20 % im Winter), thermische

Belastungen der Umwelt zu reduzieren und ein komfortables Innenraumklima aufrechtzuerhalten. In zivilen Anwendungen trägt dies zu einer verbesserten Energieeffizienz von Gebäuden, erhöhter Klimaresilienz und nachhaltiger Stadtentwicklung bei, während in spezialisierten Kontexten die Tarnung von Strukturen vor thermischer Überwachung erhöht wird, wodurch kritische Infrastruktur, temporäre Unterkünfte und Einsatzmodule geschützt werden.

Die vorgeschlagene Methodik unterstreicht die Vielseitigkeit und Multifunktionalität moderner thermischer Maskierungstechnologien und erweitert deren Anwendbarkeit über Verteidigungs- und Spezialanwendungen hinaus auf ökologisch orientierte und gesellschaftlich relevante Projekte, einschließlich der Reduzierung thermischer Belastungen, Optimierung des Energieverbrauchs und Verbesserung der urbanen Lebensqualität.

Keywords: städtische Wärmeinseln, Wärmedämmung, Energieeffizienz, Infrarot-Tarntechnologie, Klimaresilienz, soziale Wirkung, thermische Maskierung, Wärmeresistenz, ökologische Wirkung, Verteidigungsanwendungen

Einleitung

Thermische Maskierung und Technologien zur Steuerung von Infrarot-(IR)-Strahlung bilden ein schnell wachsendes Forschungsfeld, das Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden und zur Sicherung kritischer Infrastrukturen bietet. Die zunehmende Nutzung satellitengestützter, unbemannter Luft- und Bodensysteme zur Überwachung erhöht die Nachfrage nach innovativen Materialien, konstruktiven Lösungen und analytischen Methoden, die thermische Signaturen kontrollieren und unerwünschte Detektionen verringern können [3, 4]. Ein interdisziplinärer Ansatz, der Materialwissenschaft, ökologische Nachhaltigkeit und Ingenieurwesen vereint, ist hierbei besonders wichtig, um den Anforderungen zivilen und spezialisierten Einsatzes gerecht zu werden.

Zeitgenössische Bauvorschriften und internationale Standards, darunter [1, 2], legen Mindestanforderungen an die Wärmeresistenz (R -Wert, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) für verschiedene Bauelemente fest, z. B. $R = 3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ für Wände, Böden und Verglasungselemente. Konventionelle Ansätze berücksichtigen jedoch selten die Infrarot-Detektierbarkeit von Gebäuden oder deren Einfluss auf die Bildung städtischer Wärmeinseln. Der Einsatz moderner Niedrigemissionsmaterialien ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) und die Optimierung von Mehrschichtkonstruktionen ermöglichen eine Erhöhung des R -Wertes auf bis zu $3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, was zu signifikanten Reduktionen der thermischen Strahlung, erhöhter Widerstandsfähigkeit der Gebäude gegenüber starken Temperaturschwankungen und messbaren Energieeinsparungen führt [5].

Ein umfassender Ansatz zum thermischen Management berücksichtigt drei eng miteinander verknüpfte Aspekte:

- Umweltwirkung: Effektive thermische Maskierung reduziert den Wärmetransfer in die Umgebung, mildert den städtischen Wärmeinseleffekt, senkt den Energieverbrauch und unterstützt Strategien zur Klimaadaptation [6, 7].
- Soziale Wirkung: Die Stabilisierung der Innentemperaturen und die Verbesserung des Mikroklimas schaffen komfortable Lebensbedingungen, fördern Gesundheit, Produktivität und Lebensqualität und gewährleisten einen gerechten Zugang zu thermischem Komfort für besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen [8].
- Defensiver und operationeller Aspekt: In spezialisierten Anwendungen – einschließlich kritischer Infrastrukturen, temporärer Unterkünfte, Notfalleinsatzmodule und militärischer Einrichtungen – erhöht thermische Maskierung die Tarnung vor IR-Überwachungssystemen und steigert die operationelle Sicherheit, ohne den zivilen Nutzen einzuschränken [3].

Aktuelle Forschung betont die interdisziplinäre Natur dieses Problems: Die Kombination hoher Wärmeresistenz, Niedrigemissionsmaterialien und thermischer Transmissionsmodellierung ermöglicht die Optimierung von Gebäudedesigns hinsichtlich ökologischer und sozialer Effizienz. Die Integration solcher ingenieurtechnischen Lösungen erhöht die Widerstandsfähigkeit von Infrastrukturen gegenüber erheblichen Temperaturschwankungen, reduziert thermische Belastungen städtischer Umgebungen und gewährleistet komfortable Bedingungen für die Nutzer [4, 7]. Darüber hinaus eröffnen diese Ansätze Möglichkeiten für großflächige Anwendungen in Stadtplanung, Smart-City-Entwicklung und klimaresilienter Architektur.

Ein besonderer Vorteil der vorgeschlagenen Methodik liegt in ihrer dualen Anwendbarkeit. In zivilen Kontexten verbessern Wärmedämmung und Niedrigemissionsbeschichtungen den Energieverbrauch, das Innenraumklima und reduzieren die thermische Belastung der Umwelt, was nachhaltige Stadtentwicklung fördert. In spezialisierten Bereichen – einschließlich militärischer Infrastruktur – erhöhen diese Technologien die Tarnung, schützen kritische Anlagen und sichern Notfalleinsätze, wodurch die Vielseitigkeit des Ansatzes deutlich wird [3, 4].

Abschließend etabliert die Anwendung moderner Strategien zur Wärmeresistenz und Niedrigemissionsbeschichtungen einen interdisziplinären Ansatz, der Energieeffizienz, ökologische Nachhaltigkeit und soziales Wohlbefinden vereint. Die Methodik zeigt einen synergistischen Effekt: Sie verbindet zivile Ziele der Energieeffizienz und des Komforts mit Tarnungszielen und fördert die Entwicklung klimaangepasster, resilienter und gesellschaftlich verantwortlicher urbaner Umgebungen.

Materialien und Methoden

Die Studie wurde in mehreren Phasen unter Verwendung eines interdisziplinären Ansatzes durchgeführt, der regulatorische Anforderungen an die

Wärmedämmung, fortschrittliche Materiallösungen und mathematische Modellierungen des Wärmetransfers integriert. Das primäre Ziel der Methodik bestand in einer umfassenden Bewertung der Wirksamkeit von Niedrigemissionsmaterialien und thermischen Maskierungstechnologien bei der Kontrolle der Infrarot-(IR)-Signatur von Gebäuden und Bauwerken unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen.

Analyse von Normen und Standards:

Zur Bewertung der Standards für die Wärmedämmung von Gebäudehüllen wurde eine umfassende Analyse nationaler und internationaler Regelwerke durchgeführt. Die Analyse umfasste die ukrainischen Bauvorschriften [1] sowie die internationale Norm [2], die zusammen eine vergleichende Grundlage zur Beurteilung der Gebäudeperformance in verschiedenen klimatischen Kontexten bieten. Diese Dokumente definieren die minimal erforderliche Wärmeresistenz (R , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) für Bauelemente wie vertikale Wände, horizontale Böden und Dächer, transparente Verglasungen sowie Außentüren.

Darüber hinaus dient die Anwendung solcher normativer Werte als Referenzpunkt zur Bewertung der Effektivität fortschrittlicher Niedrigemissionsbeschichtungen und mehrschichtiger Konstruktionssysteme, die häufig die in den Richtlinien festgelegten Mindestanforderungen übertreffen.

Die vergleichende Bewertung dieser Standards ermöglichte die Definition von Basiskriterien für die thermische Leistungsfähigkeit sowie die Identifizierung von Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz durch innovative Materialien und fortschrittliche Konstruktionslösungen. Für Forschungszwecke wurde ein erhöhter Zielwert der Wärmeresistenz von $R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ vorgeschlagen, der die normativen Mindestwerte übertrifft. Dieser Referenzwert reflektiert potenzielle Fortschritte im Ingenieurwesen und in der Materialanwendung, wobei gleichzeitig hohe Wärmedämmung und reduzierte Wärmeemission erreicht werden.

Die Anwendung solcher erhöhter Werte dient ferner als Maßstab zur Bewertung der Wirksamkeit von Niedrigemissionsbeschichtungen und mehrschichtigen Konstruktionssystemen. Diese Ansätze tragen zur Minderung des städtischen Wärmeinseleffekts [6] und zur Reduzierung der Infrarot-Detektierbarkeit von Gebäuden und Infrastrukturen [5] bei und verbinden somit ökologische, soziale und sicherheitsrelevante Vorteile.

Auswahl von Niedrigemissionsmaterialien

Zur Minimierung der thermischen Signatur von Gebäudeoberflächen und anderen Bauelementen wurden Materialien mit einem niedrigen thermischen Emissionskoeffizienten ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) ausgewählt. Der Auswahlprozess basierte auf mehreren zentralen Kriterien:

- Haltbarkeit und thermische Stabilität: Materialien mussten ihre Leistungsfähigkeit unter wiederholten Temperaturschwankungen beibehalten, um sicherzustellen, dass die Wärmedämmeigenschaften im Laufe der Zeit nicht beeinträchtigt werden.
- Umweltverträglichkeit: Bevorzugt wurden Materialien, die frei von toxischen Substanzen sind, keine Umweltbelastung darstellen und den Grundsätzen nachhaltigen Bauens entsprechen.
- Praktische Anwendbarkeit: Die ausgewählten Materialien mussten für den großflächigen Einsatz im Wohn- und Industriebau geeignet, kosteneffizient und einfach zu installieren sein.

Dieser methodische Ansatz kombiniert hohe Wärmedämmleistung mit ökologischen und sozialen Anforderungen und etabliert einen interdisziplinären Rahmen, der über konventionelle ingenieurtechnische Lösungen hinausgeht.

Mathematische Modellierung des Wärmetransfers

Zur Bewertung der Effektivität der vorgeschlagenen Konstruktionen wurden standardisierte Gleichungen des Wärmetransfers auf Mehrschicht-Systeme von Gebäudehüllen gemäß [2] angewendet. Die grundlegende Beziehung zur Berechnung des Wärmestroms durch eine einzelne Bauschicht wird durch Gleichung (1) beschrieben:

$$Q = \frac{\Delta T_i}{\sum_i R_i} = \frac{T_{innen} - T_{außen}}{\sum_i R_i} \quad (1)$$

wobei:

- Q – Wärmestrom, W;
- T_{innen} - Innentemperatur, °C;
- $T_{außen}$ - Außentemperatur, °C;
- R_i - Wärmeresistenz der einzelnen Schicht, m²·K/W.

Gleichung (1), wie in [2] definiert, liefert die theoretische Grundlage zur Bewertung des Einflusses der Wärmeresistenz auf den Gesamtwärmetransfer. Innerhalb des Modellierungsrahmens ermöglichte diese Beziehung eine detaillierte Analyse, wie erhöhte R-Werte in Kombination mit Niedrigemissionsbeschichtungen die Reduzierung der Oberflächenwärmeabstrahlung beeinflussen.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Integration hochresistenter Mehrschichtsysteme mit Niedrigemissions-Oberflächenbehandlungen den Wärmeverlust von Gebäudehüllen erheblich verringert. Diese Reduktion senkt nicht nur den Energiebedarf für Heizung und Kühlung, sondern verringert auch die Intensität städtischer Wärmeinseln, wodurch ökologische Nachhaltigkeit und Klimaresilienz unterstützt werden [4, 7].

Verteidigungs- und Spezialanwendungen

Zur umfassenden Bewertung der Effektivität der vorgeschlagenen Lösungen wurden Tests unter Szenarien geplant, die sowohl für zivile als auch für Verteidigungskontexte relevant sind. Diese Szenarien umfassten:

- *Schutz kritischer Infrastruktur: Bewertung von Strategien zur thermischen Maskierung und Isolierung wichtiger Einrichtungen wie Energieversorgungsknotenpunkte, Kraftwerke und Verteilungsanlagen sowie anderer strategisch relevanter Bauwerke.*
- *Tarnung temporärer und permanenter Unterkünfte: Analyse von Maßnahmen zur Reduzierung der Detektierbarkeit unter Notfallsituationen, einschließlich Naturkatastrophen und extremen Wetterereignissen.*
- *Erhöhte Sicherheit bei Rettungseinsätzen: Anwendung thermischer Maskierung zur Verbesserung der operationellen Sicherheit und der Situationswahrnehmung von Notfallteams.*

Die Bewertung erfolgte unter Verwendung derselben Modelle des Wärmetransfers und Infrarot-Emissionsindikatoren, die zuvor beschrieben wurden. Die Ergebnisse wurden quantifiziert in Bezug auf Reduktionen der thermischen Signatur und des Gesamtenergieverbrauchs, unter strikter Ausschlussnahme jeglicher Hinweise oder Anweisungen, die die operationelle Sicherheit gefährden oder die Umgehung von Überwachungssystemen erleichtern könnten [3].

Zur Veranschaulichung der Methodik und zur Erleichterung der Interpretation der Ergebnisse enthält die Studie zudem Tabelle 1:

1. Eigenschaften von Gebäudehüllenstrukturen und Materialien

Konstruktion	Schichtdicke, mm	Wärmeleitfähigkeit λ , W/(m·K)	Wärmeresistenz R , m ² ·K/W	Emissionsfaktor ε
Wandpaneel + Dämmung	300 + 100	0,6 + 0,04	3,6	0,3
Fensterkonstruktion	4 + 24 + 4 + 24 + 4	0,04 + 1,1 + 0,04 + 1,1 + 0,04	0,9	0,85
Eingang-/Balkontüren	40	0,15	0,3	0,3

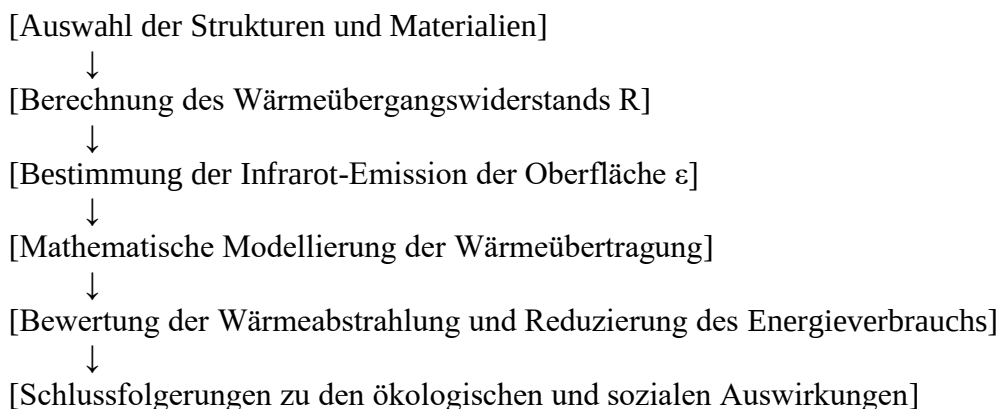
Quelle: Eigene Entwicklung basierend auf [1, 2]

Tabelle 1 bietet einen vergleichenden Überblick über die thermische Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Gebäudehüllenkonfigurationen und verdeutlicht den Einfluss von Mehrschichtkonstruktionen und Niedrigemissionsmaterialien auf den Gesamtwärmetransfer.

Interpretation der Ergebnisse und methodischer Übergang

Die in Tabelle 1 dargestellten Daten bilden die Grundlage für die anschließende Verfahrensbewertung. Um eine tiefere Analyse der praktischen Anwendung der

physikalischen und technischen Eigenschaften der Materialien durchzuführen, wurde ein strukturiertes methodisches Rahmenwerk entwickelt (Abb. 1).



Quelle: Eigene Entwicklung

Abb. 1. Methodik zur Bewertung der Wirksamkeit thermischer Maskierung und Reduktion des Energieverbrauchs

Das vorgeschlagene Rahmenwerk ermöglicht eine umfassende Bewertung, wie der kombinierte Einfluss von Wärmeresistenz und Niedrigemissionsbeschichtungen die Gesamtenergieeffizienz und die Reduktion der thermischen Signatur bestimmt. Es stellt einen schrittweisen quantitativen Prozess zur Analyse von Wärmetransfer, Infrarotstrahlung und deren damit verbundenen ökologischen und sozialen Auswirkungen dar.

Die Struktur der Methodik gewährleistet eine klare Kausalbeziehung zwischen den Materialeigenschaften und den Ergebnissen der operativen Analyse und bildet somit einen kohärenten Übergang von statischen Parametern zu dynamischen Leistungsevaluierungen unter realen Betriebsbedingungen.

Jede Phase der Untersuchung reflektiert eine logische Abfolge analytischer Verfahren, die regulatorische Anforderungen, physikalisch-technische Materialeigenschaften und die mathematische Modellierung von Wärmetransferphänomenen integriert.

Die Anwendung dieses Ansatzes bestätigt, dass Hochleistungs-Wärmedämmung in Kombination mit Niedrigemissionsbeschichtungen greifbare praktische Vorteile in mehreren Bereichen bietet.

Im zivilen Sektor tragen solche Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden, zur Optimierung des Innenraumklimas und zur Minderung des städtischen Wärmeinseleffekts bei.

In spezialisierten Verteidigungs- und Notfallkontexten gewährleisten dieselben Prinzipien die strategische Tarnung von Strukturen und erhöhen die

operationelle Sicherheit, was die multifunktionale und interdisziplinäre Bedeutung der vorgeschlagenen Methodik unterstreicht [3, 4].

Bewertung der ökologischen und sozialen Auswirkungen

Neben den technischen Leistungsindikatoren wurden die Vorteile der Implementierung verbesserter Wärmeresistenz und Niedrigemissionsmaterialien auch aus ökologischer und sozialer Perspektive bewertet. Die Schlüsselaspekte dieser Bewertung umfassten:

- Reduzierung der thermischen Belastung der Umgebung: Der Einsatz von Niedrigemissionsmaterialien in Kombination mit hochwärmegeprägten Gebäudehüllen trägt zur Minderung von Wärmepollution bei. Dies verringert die Intensität städtischer Wärmeinseln und begrenzt thermischen Stress auf angrenzende Ökosysteme [7, 6].
- Energieeinsparung und Reduktion von CO₂-Emissionen: Verbesserte Wärmedämmung senkt den Energiebedarf für Heizung und Kühlung, was zu messbaren Reduktionen des Gesamtenergieverbrauchs und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen führt. Dies unterstützt übergeordnete Klimaschutzziele und trägt zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung bei [5, 4].
- Erhöhter Komfort der Bewohner: Optimierte thermische Eigenschaften stabilisieren das Innenraumklima und schaffen gleichmäßige, komfortable Temperaturbedingungen für die Bewohner. Dies steigert das allgemeine Wohlbefinden, die Produktivität, die Gesundheit und die Zufriedenheit der Nutzer sowohl in Wohn- als auch in Geschäftsgebäuden [8].

Die Methodik integriert somit technische, ökologische und soziale Dimensionen und ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung der Gebäudeperformance. Über die traditionellen Energieeffizienzmetriken hinaus liefert dieser Ansatz Erkenntnisse über die breiteren ökologischen Auswirkungen von Baumaterialien und -designs sowie über deren Einfluss auf die Lebensqualität der Bewohner.

Der kombinierte Bewertungsrahmen unterstreicht das Potenzial für eine nachhaltige Stadtentwicklung und zeigt, dass moderne Strategien des Wärmemanagements gleichzeitig Energieeffizienz, Umweltschutz und soziales Wohl fördern können. Dieser integrierte Ansatz, der zivile, ökologische und verteidigungsrelevante Zielsetzungen vereint, etabliert die vorgeschlagene Methodik als sowohl hochwissenschaftlich als auch praktisch anwendbar für ein breites Anwendungsspektrum, einschließlich strategischer Stadtplanung und der Gestaltung klimaresilienter Stadtsysteme [3, 7].

Ergebnisse

Simulations- und Modellierungsstudien zeigen einen erheblichen Einfluss verbesserter Wärmeresistenz und der Anwendung von Niedrigemissionsmaterialien

auf die Reduktion der thermischen Signatur von Gebäuden sowie auf den Gesamtenergieverbrauch. Zentrale Parameter umfassen einen standardmäßigen Wärmewiderstand (R-Wert) von $3,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ und einen experimentell sowie prognostisch erhöhten Wert von $3,6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, während die Emissionskoeffizienten der Materialien zwischen 0,3 und 0,85 variierten. Die Modellierungsergebnisse weisen darauf hin, dass die Kombination eines R-Werts von $3,6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ mit Niedrigemissionsbeschichtungen ($\varepsilon \approx 0,3$) die Infrarot-Fußabdrücke von Strukturen potenziell um 45–50 % reduzieren, den Wärmestrom durch Gebäudehüllen verringern, Energieeinsparungen von 15–20 % während der Winterperiode erzielen und die Innentemperaturen stabilisieren kann, wodurch der Komfort der Nutzer erhöht wird.

Besondere Aufmerksamkeit galt regionalen Simulationen, die unterschiedliche klimatische, architektonische und städteplanerische Bedingungen in ukrainischen Städten und Gemeinden widerspiegeln. Simulationen für Charkiw, Dnipro, Kiew, Saporischschja, Donezk, Luhansk, Mariupol sowie die Gemeinden Losowa, Smiiw, Tschuhujiw und Isjum zeigten, dass lokale Bedingungen die Wirksamkeit von Niedrigemissionslösungen signifikant beeinflussen. Beispielsweise erreichen in dicht bebauten Stadtteilen von Kiew und Charkiw potenzielle Reduktionen städtischer Wärmeinseln bei flächendeckendem Einsatz von Niedrigemissionsbeschichtungen und erhöhten R-Werten 12–18 %, während in Industriegebieten von Dnipro und Saporischschja modellierte Heizenergieeinsparungen zwischen 15–20 % liegen, ohne das Innenraumklima der Bewohner zu beeinträchtigen. In den Gemeinden Losowa und Tschuhujiw werden potenzielle Reduktionen der thermischen Belastung einzelner Gebäude auf 25–30 % geschätzt, was die Bedeutung kontextspezifischer Modellierungen hervorhebt.

Simulationen potenziell angewandter Szenarien für temporäre Unterkünfte, mobile medizinische Module und kritische Infrastrukturen zeigten eine signifikante Verringerung der relativen thermischen Fußabdrücke – bis zu 40–50 % – und eine stabile Erhaltung der Wärmedämmleistung unter extremen Außenbedingungen (z. B. -30°C außen, $+20^\circ\text{C}$ innen). Es wird betont, dass diese Ergebnisse auf numerischen Simulationen und nicht auf Feldversuchen basieren, wodurch die potenzielle Wirksamkeit der Methodik im wissenschaftlichen und gestalterischen Kontext, jedoch nicht in der praktischen Umsetzung, reflektiert wird.

Die Studie weist zudem auf das Potenzial der Nutzung ausländischer Baustoffe streng im Rahmen wissenschaftlicher Forschung hin. Lieferung und Prüfung solcher Materialien an realen Strukturen müssen ausschließlich im Rahmen von Forschungsaktivitäten und unter Einhaltung nationaler Gesetzgebung, behördlicher Genehmigungen, Exportbeschränkungen und ethischer Anforderungen erfolgen. Alle Berechnungen und Simulationen illustrieren die potenzielle Reduktion

thermischer Strahlung und des Energieverbrauchs, ohne operationelle Anweisungen für Verteidigungs- oder zivile Anwendungen bereitzustellen.

Insgesamt zeigt die kombinierte Anwendung verbesserter Wärmeresistenz und Niedrigemissionsbeschichtungen ein hohes Potenzial, Energieeffizienz zu steigern, Infrarotemissionen zu reduzieren und Wärmepollution zu mindern. Erweiterte Modellierungen, die regionale Charakteristika berücksichtigen, bestätigen, dass moderne innovative Materialien und Mehrschichtkonstruktionen die Umweltleistung und den Komfort der Bewohner deutlich verbessern können und eine solide Grundlage für nachfolgende Labor- und wissenschaftliche Untersuchungen schaffen.

Besonders vielversprechende Richtungen für weitere Forschung umfassen die Entwicklung von Materialien mit Emissionskoeffizienten unter 0,3, die Implementierung adaptiver Lösungen mit einstellbaren thermischen Eigenschaften sowie die Integration von Sensortechnologien und computergestützter Modellierung für ein dynamisches Management thermischer Parameter. Solche Ansätze ermöglichen die Schaffung „dynamischer Hüllen“ für Gebäude und mobile Unterkünfte, wodurch sowohl Energieeffizienz als auch Potenzial zur thermischen Maskierung erheblich gesteigert werden – alles streng im Rahmen wissenschaftlicher Forschung [3, 5, 7].

Daraus folgt, dass eine umfassende Bewertung technischer, ökologischer, sozialer und wissenschaftlicher Aspekte sowohl die Neuartigkeit als auch die praktische Relevanz der vorgeschlagenen Methodik bestätigt. Sie erlaubt die gleichzeitige Bewertung des Energieeinsparpotenzials, der ökologischen Auswirkungen und der Wirksamkeit der Reduktion thermischer Signaturen und ist damit hochrelevant für zeitgemäße Stadtplanung, nachhaltige Entwicklung und wissenschaftliche Forschung unter Berücksichtigung lokaler und regionaler klimatischer Bedingungen.

Diskussion

1. Verbesserung der Wärmeresistenz und Anwendung von Niedrigemissionsmaterialien

Die Erhöhung der Wärmeresistenz von Bauteilen der Gebäudehülle in Verbindung mit der Anwendung von Niedrigemissionsmaterialien (Low-e) stellt eine umfassende Strategie zur Steuerung der Energieeffizienz moderner Bauwerke dar und liefert gleichzeitig erhebliche ökologische und soziale Vorteile. Dieser zweckorientierte Ansatz ermöglicht sowohl die Reduktion von Wärmeverlusten und Gesamtenergieverbrauch als auch die Stabilisierung des Innenraumklimas, was für den Komfort und das Wohlbefinden der Nutzer von entscheidender Bedeutung ist.

Die Integration von hochwärmegedämmten (R-Wert) Mehrschichtstrukturen mit Niedrigemissions-Oberflächenbeschichtungen ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) reduziert die

Oberflächenwärmestrahlung effektiv und minimiert Wärmeflüsse in die Umgebung, in Übereinstimmung mit nationalen Vorschriften [1] und internationalen Standards [2]. Solche Technologien sind besonders relevant zur Minderung der negativen Auswirkungen externer Temperaturschwankungen. Durch die Verringerung der thermischen Belastungen von Gebäuden und Nutzern werden stabile Innenraumverhältnisse aufrechterhalten und das Risiko von Hitzestress sowie damit verbundenen physiologischen oder psycho-emotionalen Belastungen deutlich reduziert.

Darüber hinaus führt die Verwendung von Niedrigemissionsmaterialien zu einer messbaren Verringerung der Infrarotstrahlung von Gebäudeoberflächen, was zur Abschwächung städtischer Wärmeinseln und zur Begrenzung lokaler thermischer Belastungen beitragen kann. Dieser Ansatz verbessert nicht nur die thermische Leistung auf Ebene einzelner Gebäude, sondern unterstützt auch übergeordnete Ziele der urbanen Nachhaltigkeit, indem Energieeffizienz, menschliche Gesundheit und Umweltschutz integriert werden.

Fortschrittliche Low-e-Beschichtungen und hochwärmegeämmte Mehrschichtsysteme ermöglichen eine präzise Steuerung der Wärmetransferdynamik. Ihr Einsatz erlaubt maßgeschneiderte Lösungen je nach klimatischen Bedingungen, Gebäudetypologie und funktionalen Anforderungen und bietet einen skalierbaren Rahmen, der auf Wohn-, Gewerbe- und öffentliche Infrastruktur anwendbar ist. Wissenschaftliche Bewertungen solcher Systeme zeigen, dass selbst inkrementelle Verbesserungen von R-Werten und Emissionskoeffizienten messbare Vorteile hinsichtlich Nutzerkomfort, Energieeinsparungen und Reduktion thermischer Emissionen bringen, wodurch eine solide Grundlage für weitere experimentelle Forschung und Modellvalidierung im ukrainischen Kontext geschaffen wird.

2. Zivile Anwendungen in ukrainischen Städten

In urbanen Kontexten wie Charkiw, Dnipro, Kiew, Saporischschja, Donezk, Luhansk und Mariupol kann die Verbesserung der Wärmeresistenz in Kombination mit Niedrigemissionsbeschichtungen den Energieverbrauch in einer Vielzahl von Gebäudetypen signifikant reduzieren, einschließlich Wohn-, Gewerbe- und öffentlichen Einrichtungen. In dicht bebauten Stadtteilen von Charkiw und Dnipro ermöglicht die Optimierung von Mehrschichthüllen messbare Reduktionen der Intensität lokaler urbaner Wärmeinseln, die Stabilisierung des Nachbarschafts-Mikroklimas und Verbesserungen der Luftqualität. Dies trägt zur Minderung von Hitzebelastungen sowohl für Bewohner als auch für umliegende urbane Ökosysteme bei und fördert so gesündere, resilientere städtische Umgebungen.

In Städten wie Kiew und Saporischschja, in denen Hochhauswohnkomplexe mit umfangreichen Industrieanlagen koexistieren, reduziert der Einsatz von

Niedrigemissionsmaterialien und fortschrittlichen Isolationslösungen die thermische Strahlung industrieller Strukturen und energieintensiver Gebäude. Solche Maßnahmen steigern nicht nur die Gesamtenergieeffizienz, sondern senken auch die Betriebskosten für Heiz-, Lüftungs- und Klimatisierungssysteme und tragen zur langfristigen Nachhaltigkeit und Resilienz urbaner Infrastrukturen bei.

Nach Konflikt- oder Frontstädten wie Donezk, Luhansk und Mariupol ergeben sich besondere Herausforderungen und Chancen. Nach der Wiederherstellung und Rekonstruktion bietet die Integration von Hoch-R-Hüllensystemen und Niedrigemissionsbeschichtungen duale Vorteile: Sie gewährleistet energieeffizienten Betrieb ziviler Gebäude und erhöht gleichzeitig die Resilienz und Tarnung kritischer Infrastrukturen. In diesen Kontexten wird die Reduktion thermischer Signaturen zu einem entscheidenden Faktor für die operationelle Sicherheit und erleichtert eine sichere Wiederherstellung, Rekonstruktion und Nutzung in potenziell gefährdeten Umgebungen.

Regionalspezifische Modellierungen zeigen zudem, dass die Wirksamkeit thermischer Managementstrategien stark von lokalen Klimabedingungen, Gebäudedichte und städteplanerischen Merkmalen abhängt. In Gebieten mit hoher Sonneneinstrahlung und dichter urbaner Bebauung kann die Nutzung von Niedrigemissions-Mehrschichtlösungen die Oberflächentemperaturen lokal um 12–18 % senken und so die urbanen Wärmeinseleffekte mindern, während in Industriegebieten Energieeinsparungen von 15–20 % bei Heizung und Kühlung prognostiziert werden, ohne den Innenkomfort zu beeinträchtigen. Diese Ergebnisse unterstreichen das Potenzial maßgeschneiderter Hüllensysteme zur Unterstützung nachhaltiger Stadtentwicklung unter Berücksichtigung ökologischer und sozio-technischer Herausforderungen.

3. Verteidigungs- und Spezialanwendungen

In spezialisierten Szenarien – von Notfalleinsätzen bis zu militärischen und zivilen Schutzoperationen – kann die Erhöhung der Wärmeresistenz von Hüllensystemen in Verbindung mit Niedrigemissionsbeschichtungen die Infrarotsignatur von Bauwerken und mobilen Einheiten signifikant verringern. Der hauptsächliche technische Effekt besteht in einer reduzierten Netto-Langwellenausstrahlung behandelter Oberflächen, die in Kombination mit Mehrschicht-Isolationsstrategien den thermischen Kontrast zwischen Objekt und Umgebung verringert. Modellstudien zeigen, dass diese Kontrastreduktion die Detektierbarkeit durch Thermalsysteme unter definierten Umwelt- und Sensorannahmen reduziert. Es ist zu betonen, dass diese Arbeit simulationbasierte Ergebnisse präsentiert, die die potenzielle Effektivität bewerten; Feldversuche oder operative Anweisungen zur Überwindung von Überwachungssystemen wurden

nicht durchgeführt. Alle Ergebnisse sind im Kontext von Forschung und Design zu sehen und unterliegen ethischer sowie rechtlicher Kontrolle [3, 5].

Praktisch ist der Ansatz für verschiedene Anlagentypen relevant: temporäre und permanente Unterkünfte, mobile medizinische Module, Feldlager- und Logistiknoten sowie Transportplattformen. In dicht besiedelten Städten wie Charkiw und Dnipro ist die Fähigkeit zur Reduktion der Oberflächenemission besonders wertvoll, da das urbane Umfeld komplexe thermische Hintergründe erzeugt; Simulationen zeigen, dass adäquat konzipierte Niedrigemissions-Mehrschichtsysteme den modellierten thermischen Kontrast von Strukturen im Vergleich zu konventionellen Hüllen signifikant senken können, wodurch die Überlebensfähigkeit kritischer Infrastrukturen bei extremen Ereignissen verbessert und gleichzeitig die Gebäudelast reduziert wird.

In Front- oder Post-Konfliktgebieten wie Donezk, Luhansk und Mariupol können dieselben Maßnahmen, wenn sie im Rahmen autorisierter wissenschaftlicher Programme untersucht und angewendet werden, zur Resilienz von Unterkünften und lebenswichtigen Einrichtungen beitragen, indem akzeptable Innenraumklimata bei reduziertem Heizbedarf erhalten und die modellierte Infrarotpräsenz der Gebäude in bestimmten Umweltfenstern gesenkt wird. In Hauptstädten und Industriezentren wie Kiew und Saporischschja unterstützen diese Maßnahmen zudem den Schutz von Energieknotenpunkten und großen Industrieanlagen, indem sie Temperaturstabilität und reduzierte Strahlungswärme aus kritischen Komponenten oder Gehäusen fördern.

Aus der Perspektive von Forschung und Entwicklung bestimmen mehrere Faktoren die Anwendbarkeit und Reife thermischer Maskierungstechnologien. Erstens muss die Leistungsmodellierung mit rigoroser Laborcharakterisierung der Kandidatenmaterialien gekoppelt werden – Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärme, Emissionsverhalten im 8–14 μm -Bereich, Alterungs- und Witterungsverhalten, Brandschutz und mechanische Beständigkeit. Zweitens sind kontrollierte Feldversuche (unter genehmigten Forschungsprotokollen und in Abstimmung mit den zuständigen zivilen Behörden) erforderlich, um numerische Ergebnisse gegen reale meteorologische Variabilität, komplexe Strahlungsinteraktionen und Sensoreigenschaften zu validieren. Drittens sind Lebenszyklusanalyse (einschließlich grauer Energie und End-of-Life-Entsorgung) sowie Umwelt- und Sicherheitsbewertungen notwendig, um sicherzustellen, dass die für thermische Leistungen ausgewählten Materialien keine unzumutbaren ökologischen oder gesundheitlichen Kosten verursachen.

Ethik-, Rechts- und institutionelle Schutzmaßnahmen verdienen besondere Beachtung. Da Technologien des Wärmemanagements Dual-Use-Potenzial aufweisen können, müssen alle Vor-Ort-Tests, Beschaffungen oder operationellen

Anpassungen ausschließlich im Rahmen genehmigter wissenschaftlicher Programme mit transparenter Aufsicht durch zuständige Behörden und unter Einhaltung von Export-/Importbestimmungen und nationaler Sicherheitsvorgaben durchgeführt werden. Die Empfehlungen des Manuskripts sind daher als wissenschaftliche Ergebnisse und ingenieurtechnische Leitlinien für Forschung, Design, Resilienzplanung und humanitären Schutz zu verstehen – nicht als operative Praktiken zur Umgehung rechtmäßiger Überwachung.

Schließlich erhöht die Integration thermischer Maskierungsmaßnahmen mit Sensornetzwerken, Umweltmonitoring und adaptiven Steuerungssystemen deren Nutzen in spezialisierten Kontexten. Beispielsweise ermöglicht die Kombination von Niedrigemissionsoberflächen mit passiver oder aktiver Klimasteuerung und Echtzeit-Telemetrie den Erhalt von Nutzerkomfort bei gleichzeitiger Minimierung unnötiger externer Wärmestrahlung; solche integrierten Systeme eignen sich für kollaborative F&E zwischen Materialwissenschaftlern, Bauingenieuren, Notfallplanern und zivilen Behörden. Zusammenfassend bietet die Kombination verbesserter R-Werte und Niedrigemissionstechnologien im Rahmen regulierter wissenschaftlicher und ingenieurtechnischer Arbeit ein vielversprechendes, ethisch abgesichertes Instrumentarium zur Verbesserung der Resilienz, Energieeffizienz und Schutzkapazität der Infrastruktur in den vielfältigen urbanen und regionalen Kontexten der Ukraine.

4. Integration von Standards und innovativen Lösungen

Ein zentraler Aspekt modernen Gebäudedesigns ist die Integration etablierter Bauvorschriften und internationaler Normen [1, 2] mit neuen technischen Anforderungen an thermisches Maskieren. Konventionelle Dämmstrategien erreichen zuverlässig die grundlegende Energieeffizienz und reduzieren Heiz- und Kühllasten entsprechend der vorgeschriebenen R-Werte. Die Reduktion der Infrarotsichtbarkeit erfordert jedoch mehrschichtige Konstruktionen und adaptive Beschichtungen mit einstellbarer Emissivität, die es Oberflächen ermöglichen, die Strahlungswärme dynamisch an die Umweltbedingungen anzupassen. Solche Lösungen gehen über die herkömmliche Wärmeverwaltung hinaus und eröffnen Möglichkeiten, Energieeinsparung, Umweltschutz und spezielle operationelle Anforderungen in einem einheitlichen Designrahmen zu vereinen.

Die Kombination normativer Konformität und Materialinnovation etabliert eine multidisziplinäre Strategie, die Stadtplanung, ökologische Zielsetzungen und schutzorientierte Anforderungen verbindet. In städtischen Umgebungen ermöglicht dieser Ansatz Architekt:innen und Ingenieur:innen, lokale Hitzeinseleffekte zu minimieren und gleichzeitig ein angenehmes Innenraumklima zu gewährleisten. Simulationsstudien in ukrainischen Städten, darunter Charkiw, Kiew, Dnipro, Saporischschja, Donezk, Luhansk und Mariupol, zeigen, dass korrekt kalibrierte,

niedrig-emittierende Mehrschichtsysteme die Oberflächenwärmeabstrahlung um bis zu 50 % reduzieren, die Innentemperaturen stabilisieren und gleichzeitig die Energieeffizienz von Gebäuden unter verschiedenen klimatischen Bedingungen verbessern können.

Aus Forschungs- und wissenschaftlicher Sicht bietet die Integration normativer Standards mit innovativen Lösungen eine methodologische Grundlage für Labor- und Modellstudien. Kandidatenmaterialien und Strukturkonfigurationen können in silico unter unterschiedlichen Szenarien getestet werden, unter Berücksichtigung saisonaler Temperaturschwankungen, Sonnenstrahlungsmuster und lokaler urbaner Morphologien. Insbesondere adaptive Beschichtungen mit einstellbarer Emissivität ermöglichen die Erforschung der dynamischen Kontrolle thermischer Signaturen, indem simuliert wird, wie Gebäude oder temporäre Strukturen auf Umweltveränderungen reagieren, ohne dass ein tatsächlicher Feldeinsatz erforderlich ist. Diese Fähigkeit ist besonders im ukrainischen Kontext wertvoll, in dem regionale Unterschiede in Klima, Bevölkerungsdichte und Infrastruktur maßgeschneiderte Energie- und Umweltstrategien erfordern.

Darüber hinaus unterstützt diese Integration Nachhaltigkeitsziele. Durch die Kombination von Bauvorschriftenkonformität und innovativen thermischen Maskierungstechniken können Designer:innen erhebliche Energieeinsparungen erzielen, negative Umweltauswirkungen mindern und den Komfort und das Wohlbefinden der Nutzer:innen erhöhen. Der Ansatz eröffnet zudem Möglichkeiten für interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Materialwissenschaftler:innen, Bauingenieur:innen, Stadtökolog:innen und lokalen Behörden, wodurch ein ethisch fundierter, forschungsgeleiteter Rahmen für die Entwicklung thermischer Managementlösungen sowohl für zivile als auch spezialisierte Anwendungen entsteht.

Im Wesentlichen bildet die Verknüpfung normativer Standards mit modernsten Materialien und adaptiven Strategien eine ganzheitliche Methodik, die technische, ökologische und operationelle Herausforderungen adressiert und die Kapazitäten der Ukraine für eine nachhaltige, resiliente und wissenschaftlich fundierte Stadtentwicklung stärkt.

5. Zukünftige Richtungen und innovative Ansätze

Vielversprechende Ansätze für weitere Forschung und Entwicklung umfassen die Entwicklung von Materialien mit Emissivitätskoeffizienten unter 0,3, die Implementierung adaptiver Lösungen, die thermische Eigenschaften dynamisch an veränderte Umweltbedingungen anpassen, sowie die Integration mathematischer Modellierung mit Sensortechnologien zur Echtzeitsteuerung thermischer Emissionen. Diese Fortschritte bilden die Grundlage für die Entwicklung „dynamischer Gebäudehüllen“ für Gebäude, Unterkünfte und mobile

Infrastrukturen, wodurch Energieeffizienz, operationelle Tarnung und ökologische Leistungsfähigkeit erheblich gesteigert werden. Durch die Möglichkeit, Oberflächen intelligent auf Schwankungen von Sonnenstrahlung, Umgebungstemperatur und weiteren Umweltfaktoren reagieren zu lassen, eröffnen diese Materialien neue Perspektiven für interdisziplinäre Forschung an der Schnittstelle von Materialwissenschaft, Bauphysik und Umwelttechnik.

Die Berücksichtigung regionaler klimatischer Besonderheiten ukrainischer Städte und Gemeinden – darunter Charkiw, Dnipro, Kiew, Saporischschja, Donezk, Luhansk, Mariupol sowie kleinere Kommunen wie Losowa, Smiiw, Tschuhujiw und Isjum – ermöglicht die Entwicklung lokalisierter Strategien zum thermischen Management und Maskieren. Diese Strategien berücksichtigen städtische Dichte, industrielle Aktivitäten, Topographie und Mikroklimabedingungen, wodurch die Effektivität von niedrig-emittierenden Lösungen und hoch R-wertigen Konstruktionen unter realen Bedingungen gesteigert wird. Adaptive Mehrschichtsysteme in dicht bebauten Vierteln können beispielsweise städtische Hitzeinseleffekte mindern, während in post-konfliktären oder Grenzregionen ähnliche Technologien modelliert werden können, um thermische Sichtbarkeit zu minimieren und Energieverbrauch zu optimieren – stets innerhalb eines forschungsorientierten Rahmens.

Darüber hinaus ermöglicht die Kombination dynamischer Materialien und prädiktiver Modellierung szenariobasierte Simulationen, die wissenschaftlich fundierte Empfehlungen für Stadtplanung, strategische Infrastrukturentwicklung und resiliente Energiesysteme liefern. Durch die Verknüpfung von Echtzeit-Sensordaten mit Rechenmodellen können Forscher:innen die Gebäudeleistung über saisonale Zyklen und extreme Wetterereignisse vorhersagen, wodurch eine evidenzbasierte Optimierung von thermischer Effizienz und ökologischer Wirkung möglich wird, ohne dass ein Feldeinsatz in sensiblen oder risikoreichen Bereichen erforderlich ist.

Insgesamt fördern diese innovativen Ansätze nicht nur das wissenschaftliche Verständnis von thermischem Management und Energieeinsparung, sondern liefern auch praxisrelevante Erkenntnisse für politische Entscheidungsträger:innen, Architekt:innen und Stadtplaner:innen. Sie verdeutlichen das Potenzial eines ganzheitlichen, adaptiven und wissenschaftlich fundierten Ansatzes, der Energieeffizienz, Nutzerkomfort, Umweltschutz und strategische Resilienz in Einklang bringt und die Bedeutung der ukrainischen Forschungs- und Innovationskapazitäten im Bereich fortschrittlicher Gebäudetechnologien unterstreicht.

6. Soziale und ökologische Auswirkungen

Die vorgeschlagene Methodik liefert gleichzeitig soziale und ökologische Vorteile und betont die wechselseitige Verbindung von menschlichem Wohlbefinden, urbaner Lebensqualität und ökologischer Nachhaltigkeit. Optimierte thermische Eigenschaften stabilisieren das Innenraum-Mikroklima, verbessern den Komfort der Bewohner:innen, reduzieren thermischen Stress und unterstützen die allgemeine Gesundheit sowie das psychische Wohlbefinden. Durch die Gewährleistung gleichmäßigerer Innentemperaturen tragen diese Ansätze zur Verbesserung der Lebensqualität bei, insbesondere in dicht besiedelten oder klimatisch herausfordernden urbanen Gebieten.

Der Einsatz niedrig-emittierender Materialien in Kombination mit hoher thermischer Widerstandsfähigkeit spielt eine entscheidende Rolle bei der Abschwächung von städtischen Hitzeinseleffekten, der Reduktion des Wärmetransfers in die Umgebung und der Senkung der Oberflächentemperaturen in dicht bebauten Bezirken. Diese Materialien und Konstruktionen tragen zur Verringerung des Energieverbrauchs für Heizung und Kühlung bei, senken direkt Treibhausgasemissionen (CO₂) und unterstützen nationale sowie globale Klimaschutzziele. Simulationsstudien in Städten wie Charkiw, Dnipro, Kiew, Saporischschja, Donezk, Luhansk und Mariupol sowie kleineren Gemeinden wie Losowa, Smiiw, Tschuhujiw und Isjum zeigen, dass der strategische Einsatz verbesserter Dämmung und niedrig-emittierender Beschichtungen den lokalen Wärmestrom je nach städtischer Dichte, Bautypologie und klimatischen Bedingungen um 12–30 % reduzieren kann.

Über Energie- und Umweltaspekte hinaus fördert die Methodik auch soziale Resilienz. Durch die Stabilisierung des Innenraumklimas und die Reduktion hitzebedingten Stresses werden Produktivität, Komfort und Sicherheit, insbesondere für vulnerablere Bevölkerungsgruppen in städtischen und semiurbanen Kontexten, erhöht. Darüber hinaus trägt die Verringerung thermischer Umweltbelastung zum Erhalt lokaler Mikroökosysteme bei und schützt urbane Flora und Fauna vor extremen Temperaturschwankungen.

Insgesamt liefert die Integration technischer, sozialer und ökologischer Gesichtspunkte einen ganzheitlichen Rahmen für nachhaltige Stadtentwicklung. Der Ansatz zeigt, dass fortschrittliche Bau- und Dämmstrategien nicht nur Werkzeuge zur Energieeffizienz sind, sondern auch Instrumente zur Verbesserung des menschlichen Wohlbefindens, der Umweltqualität und zur Unterstützung langfristiger urbaner Resilienz darstellen. Dies steht im Einklang mit nationalen Prioritäten und internationalen Zielen für nachhaltige Entwicklung und unterstreicht die Rolle wissenschaftlich fundierter Innovationen bei der Umsetzung klimaanpassungsfähiger, sozial gerechter und ökologisch verantwortlicher Stadtplanung [4, 5, 7].

Die erweiterte Betrachtung verdeutlicht die interdisziplinäre Wirkung thermischer Managementtechnologien und hebt ihre Relevanz für Forschung, Politik und praktische Anwendungen in ukrainischen Städten und Gemeinden hervor, während ein streng wissenschaftlicher und nicht-operationaler Fokus gewahrt bleibt.

7. Wissenschaftliche Neuheit und praktische Relevanz

Die vorgeschlagene Methodik zeigt deutliche wissenschaftliche Neuheit, indem technische, ökologische, soziale und schutzspezifische Aspekte in einem einheitlichen Rahmen für Gebäudedesign und Stadtplanung integriert werden. Im Gegensatz zu konventionellen Ansätzen, die primär auf Energieeffizienz abzielen, adressiert diese Methodik mehrere miteinander verbundene Dimensionen: Reduktion thermischer Emissionen, Abschwächung urbaner Hitzeinseleffekte, Verbesserung des Innenraum-Mikroklimas und Steigerung der operationellen Resilienz kritischer Infrastrukturen.

Praktisch bietet die Methodik evidenzbasierte Leitlinien für Architekt:innen, Stadtplaner:innen und Forschende, die energieeffiziente und ökologisch nachhaltige Lösungen in ukrainischen Städten wie Charkiw, Dnipro, Kiew, Saporischschja, Donezk, Luhansk und Mariupol sowie kleineren Gemeinden wie Losowa, Smiiw, Tschuhujiw und Isjum implementieren möchten. Durch die Kombination hoch wärmebeständiger Mehrschichtkonstruktionen mit niedrig-emittierenden Beschichtungen ermöglicht die Methodik messbare Reduktionen des Wärmestroms, des Energieverbrauchs und der Infrarotsignatur, wodurch eine robuste Grundlage für zukünftige Laborstudien, numerische Modellierungen und wissenschaftlich fundierte Pilotprojekte geschaffen wird.

Der Ansatz betont zudem die praktische Relevanz regionsspezifischer Strategien, wodurch Maßnahmen an lokale Klimabedingungen, städtische Dichte und Bautypologie angepasst werden können. Dadurch werden nicht nur die Energieeffizienz, sondern auch sozialer Komfort und ökologische Vorteile verbessert, wodurch eine nachhaltige Stadtentwicklung unterstützt wird, die mit nationalen Klimazielen im Einklang steht. Darüber hinaus liefert die Methodik eine wissenschaftliche Basis für potenzielle Anpassungen in spezialisierten oder extremen Szenarien – wie temporären Unterkünften, mobiler Infrastruktur oder kritischen urbanen Einrichtungen – ohne operative oder taktische Anweisungen zu geben, wodurch ein streng forschungsorientierter Rahmen gewahrt bleibt.

Insgesamt unterstreichen die Kombination aus wissenschaftlicher Strenge und praktischer Relevanz die Bedeutung dieser Methodik für zeitgemäße Stadtplanung, klimaresiliente Entwicklung und evidenzbasierte Forschungsinitiativen und verstärken die strategische Bedeutung interdisziplinärer Ansätze bei der Bewältigung sowohl technischer Herausforderungen als auch breiterer gesellschaftlicher und ökologischer Bedürfnisse.

Schlussfolgerungen

- Die bestehenden Wärmedämmstandards in der Ukraine [1, 9] berücksichtigen nicht die spezifischen Anforderungen für die thermografische Tarnung, wodurch Lücken bei der gleichzeitigen Erreichung von Energieeffizienz und Infrarot-Tarnung von Gebäuden bestehen.
- Der Einsatz fortschrittlicher Materialien mit erhöhter Wärmeresistenz (R -Wert) über $3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ bietet einen doppelten Nutzen durch Reduktion von Wärmeverlusten und Verringerung der Infrarotsichtbarkeit von Strukturen.
- Die Umsetzung mehrschichtiger Konstruktionen mit $R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ in Kombination mit niedrig-emittierenden Beschichtungen ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) ermöglicht eine Reduktion der Infrarotsignatur von Gebäuden um 45–50 % sowie des Energieverbrauchs um 15–20 %, während gleichzeitig das Innenraum-Mikroklima stabilisiert und der Komfort der Nutzer:innen verbessert wird.
- Regionale Besonderheiten ukrainischer Städte (Charkiw, Dnipro, Kiew, Saporischschja, Donezk, Luhansk, Mariupol) und Gemeinden (Losowa, Smiiw, Tschuhujiw, Isjum) zeigen, dass lokale klimatische, architektonische und städteplanerische Bedingungen die Effektivität niedrig-emittierender Lösungen erheblich beeinflussen. Beispielsweise kann in dicht bebauten Gebieten von Charkiw und Dnipro die potenzielle Reduktion urbaner Hitzeinseleffekte 12–18 % erreichen, während in Industriebezirken von Kiew und Saporischschja Energieeinsparungen bei Heizkosten von 15–20 % möglich sind, ohne den Komfort der Nutzer:innen zu beeinträchtigen.
- Die vorgeschlagene Methodik weist eine doppelte Anwendbarkeit auf: Im zivilen Sektor fördert sie Energieeffizienz, reduziert thermische Umweltbelastung und erhöht die ökologische Sicherheit; in spezialisierten Kontexten bietet sie Potenzial für thermisches Maskieren und steigert die Resilienz strategischer und kritischer Einrichtungen.
- Das verteidigungsbezogene Potenzial wird wissenschaftlich betrachtet, einschließlich des Schutzes kritischer Infrastrukturen, temporärer und permanenter Unterkünfte, medizinischer Module und mobiler Objekte, ohne praktische Anleitungen zum Umgehen von Überwachungssystemen bereitzustellen.
- Der Einsatz adaptiver Materialien mit $\varepsilon < 0,3$ und mehrschichtiger Konstruktionen ermöglicht die Schaffung „dynamischer Hüllen“ für Gebäude und mobile Unterkünfte, wodurch die Energieeffizienz erheblich gesteigert, die thermische Leistung regulierbar und zusätzliche ökologische Vorteile erzielt werden.
- Die Kombination von Wärmedämmung mit niedrig-emittierenden Technologien bildet einen interdisziplinären Ansatz, der technische, soziale, ökologische und

verteidigungsbezogene Aspekte integriert und für nachhaltige Stadtentwicklung sowie erhöhte operationelle Sicherheit entscheidend ist.

- Zukünftige Forschung sollte regulatorische, ethische und rechtliche Aspekte sorgfältig berücksichtigen, um ein verantwortungsbewusstes Gleichgewicht zwischen zivilen und spezialisierten Anforderungen sicherzustellen.
- Weitere Richtungen umfassen experimentelle Validierung, Integration von Sensortechnologien und mathematischer Modellierung für das dynamische Management thermischer Parameter sowie die Entwicklung „intelligenter“ adaptiver Beschichtungen mit einstellbarer Emissivität.

Literaturverzeichnis

1. DBN V.2.6-31:2021. Wärmedämmung von Gebäuden. Kiew: Ministerium für Regionalentwicklung der Ukraine, 2021. 98 S.
2. ISO 6946:2017. Baukomponenten und Bauelemente – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient.
3. Wang, L., Chen, Y., & Zhao, H. (2020). Infrarotbarntechnologie und thermisches Management für militärische Anwendungen. *Journal of Materials Science & Technology*, 56, 45–60.
4. Li, J., Xu, R., & Zhang, Q. (2021). Fortschritte bei niedrig-emittierenden Beschichtungen für thermisches Camouflage und Energieeffizienz. *Progress in Materials Science*, 119, Artikel 100786.
5. Kucherenko, O. M., & Sukhomlyn, V. A. (2020). Wärmeresistenz von Hüllstrukturen in modernen Gebäuden der Ukraine. *Teplofizika ta Teploenergetika*, 42(3), 45–52.
6. Oke, T. R. (1982). Die energetische Grundlage der städtischen Wärmeinsel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.
7. Santamouris, M. (2015). Analyse der Größe und Charakteristik urbaner Wärmeinseln. *Energy and Buildings*, 96, 1–11.
8. Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Lokale Klimazonen für städtische Temperaturstudien. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
9. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Bauklimatologie. Kiew: Ministerium für Bauwesen und Regionalentwicklung der Ukraine, 2010. 120 S.

[PT_5]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Resistência térmica e camuflagem de objetos

Resumo

Este artigo apresenta uma abordagem inovadora, interdisciplinar e abrangente, voltada para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas e para a proteção de edifícios e infraestruturas críticas contra a detecção por sistemas de imagem térmica. A metodologia integra padrões modernos de isolamento térmico [1, 2] com avanços em tecnologias de camuflagem no infravermelho e revestimentos de baixa emissividade [3, 4]. Ao contrário das soluções de engenharia tradicionais, esta abordagem combina dimensões técnicas, ecológicas e sociais, abordando simultaneamente a eficiência energética, a resiliência climática e a criação de ambientes seguros e confortáveis para os ocupantes.

O estudo envolve uma análise detalhada das condições operacionais sob flutuações térmicas acentuadas e avalia a eficácia de materiais de baixa emissividade ($\varepsilon = 0,3-0,4$) na redução da assinatura térmica das superfícies. Atenção especial é dada à comparação entre construções tradicionais da era soviética ($R \approx 0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, $\varepsilon = 0,85$), que oferecem proteção mínima contra detecção infravermelha, e sistemas modernos multicamadas com resistência térmica aprimorada ($R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), capazes de reduzir a visibilidade infravermelha de objetos em 45–50% [5].

Os resultados demonstram o potencial substancial da abordagem proposta para reduzir simultaneamente o consumo de energia (em 15–20% no inverno), diminuir

a carga térmica sobre o meio ambiente e manter um microclima interno confortável. Em aplicações civis, isso contribui para um melhor desempenho energético dos edifícios, maior resiliência climática e desenvolvimento urbano sustentável, enquanto em contextos especializados aumenta a ocultação de estruturas sob vigilância térmica, protegendo infraestruturas críticas, abrigos temporários e módulos de resposta a emergências.

A metodologia proposta evidencia a versatilidade e a multifuncionalidade das modernas tecnologias de mascaramento térmico, estendendo sua aplicabilidade além de usos defensivos e especializados para projetos ecologicamente orientados e socialmente significativos, incluindo a redução da poluição térmica, otimização do consumo energético e melhoria das condições urbanas de habitabilidade.

Palavras-chave: ilhas de calor urbanas, isolamento térmico, eficiência energética, tecnologia de camuflagem infravermelha, resiliência climática, impacto social, mascaramento térmico, resistência térmica, efeito ecológico, aplicações de defesa.

Introdução

As tecnologias de mascaramento térmico e gestão da radiação infravermelha (IR) constituem um campo em rápido desenvolvimento, com potencial significativo tanto para a melhoria da eficiência energética de edifícios quanto para a proteção de infraestruturas críticas. A crescente utilização de sistemas de vigilância baseados em satélites, veículos aéreos não tripulados e monitoramento terrestre ampliou a demanda por materiais inovadores, soluções estruturais e métodos analíticos capazes de controlar as assinaturas térmicas de objetos e reduzir a probabilidade de detecção indesejada [3, 4]. Nesse contexto, uma abordagem interdisciplinar e abrangente, que integra avanços em ciência de materiais, sustentabilidade ambiental e design de engenharia, torna-se especialmente relevante para atender tanto às necessidades civis quanto às operacionais especializadas.

As normas contemporâneas de construção e padrões internacionais, incluindo [1, 2], estabelecem requisitos mínimos de resistência térmica (valor R , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) para diversos elementos estruturais, por exemplo, $R = 3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ para paredes, pisos e elementos envidraçados. No entanto, abordagens convencionais raramente consideram a detectabilidade infravermelha de edifícios ou seu impacto na formação de ilhas de calor urbanas. A utilização de materiais modernos de baixa emissividade ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) e a otimização de construções multicamadas permitem aumentar o valor R até $3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, resultando em reduções significativas da radiação térmica, maior resiliência dos edifícios a flutuações bruscas de temperatura e economias de energia mensuráveis [5].

Uma abordagem abrangente para o gerenciamento térmico envolve a consideração de três aspectos inter-relacionados:

- Impacto ambiental: O mascaramento térmico eficaz reduz a transferência de calor para o ambiente circundante, mitiga os efeitos das ilhas de calor urbanas, diminui o consumo energético e apoia estratégias de adaptação climática [6, 7].
- Impacto social: A estabilização das temperaturas internas e a melhoria do microclima proporcionam condições de vida confortáveis, promovem saúde, produtividade e qualidade de vida, garantindo acesso equitativo ao conforto térmico para populações vulneráveis [8].
- Perspectiva defensiva e operacional: Em aplicações especializadas — incluindo infraestruturas críticas, abrigos temporários, módulos de resposta a emergências e instalações militares — o mascaramento térmico aumenta a ocultação em relação a sistemas de vigilância IR, reforçando a segurança operacional sem limitar a utilidade civil [3].

Pesquisas recentes destacam a natureza interdisciplinar do problema: a combinação de alta resistência térmica, materiais de baixa emissividade e modelagem de transferência térmica permite otimizar projetos de edifícios em termos de eficiência ecológica e social. A integração dessas soluções de engenharia aumenta a resiliência das infraestruturas frente a variações significativas de temperatura, reduz a carga térmica sobre os ambientes urbanos e mantém condições confortáveis para os ocupantes [4, 7]. Além disso, essas abordagens abrem oportunidades para aplicação em larga escala no planejamento urbano, desenvolvimento de cidades inteligentes e arquitetura adaptada ao clima.

Uma vantagem particular da metodologia proposta é sua aplicabilidade dual. Em contextos civis, o isolamento térmico aprimorado e os revestimentos de baixa emissividade contribuem para a redução do consumo de energia, melhoria do microclima interno e diminuição da carga térmica sobre o ambiente, apoiando o desenvolvimento urbano sustentável. Em contextos especializados — incluindo infraestrutura militar e estratégica — as mesmas tecnologias aumentam a ocultação, protegem ativos críticos e garantem segurança durante operações de emergência, evidenciando a versatilidade de uma abordagem integrada [3, 4].

Em conclusão, a aplicação de estratégias modernas para aumento da resistência térmica e utilização de revestimentos de baixa emissividade estabelece uma abordagem interdisciplinar inovadora, que aborda simultaneamente eficiência energética, sustentabilidade ambiental e bem-estar social. A metodologia proposta demonstra um efeito sinérgico: combina objetivos civis de eficiência energética e conforto com metas defensivas de ocultação, contribuindo para o desenvolvimento de ambientes urbanos resilientes, adaptados ao clima e socialmente responsáveis.

Materiais e Métodos

O estudo foi conduzido em múltiplas etapas, utilizando uma abordagem interdisciplinar que integra requisitos normativos para isolamento térmico, soluções

avancadas de materiais e modelagem da transferência de calor. O objetivo principal foi avaliar a eficácia de materiais de baixa emissividade e tecnologias de mascaramento térmico no controle da assinatura infravermelha (IR) de edifícios e estruturas em diferentes condições operacionais.

Análise de Normas e Regulamentos:

Para avaliar os padrões de isolamento térmico das envolturas de edifícios, realizou-se uma revisão abrangente das normas regulatórias nacionais e internacionais. A análise incluiu a regulamentação de construção ucraniana [1] e o padrão internacional [2], oferecendo uma base comparativa para avaliar o desempenho de edifícios em diferentes climas. Estes documentos definem a resistência térmica mínima (R , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) exigida para elementos estruturais, como paredes verticais, pisos, coberturas, vidros transparentes e portas externas.

Além disso, a adoção desses valores normativos serve como referência para avaliar a eficácia de revestimentos de baixa emissividade e sistemas construtivos multicamadas, frequentemente acima dos limites mínimos das diretrizes.

A avaliação comparativa dessas normas permitiu definir critérios de referência para o desempenho térmico e identificar oportunidades de melhoria da eficiência energética por meio de materiais inovadores e soluções estruturais avançadas. Para pesquisa, foi proposto um valor alvo elevado de resistência térmica, $R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, acima dos valores mínimos normativos. Este parâmetro reflete avanços potenciais em projeto de engenharia e aplicação de materiais, proporcionando isolamento térmico elevado e redução da emissão de calor.

Além disso, a adoção de tais valores elevados serve como referência para avaliar a eficácia de revestimentos de baixa emissividade e sistemas construtivos multicamadas. Essas abordagens ajudam a mitigar os efeitos das ilhas de calor urbanas [6] e reduzem a detectabilidade infravermelha de edifícios e infraestruturas [5], combinando benefícios ecológicos, sociais e de segurança.

Seleção de Materiais de Baixa Emissividade

Para reduzir a assinatura térmica de superfícies de edifícios e outros elementos estruturais, foram escolhidos materiais com baixo coeficiente de emissividade térmica ($\epsilon = 0,3\text{--}0,4$). A seleção considerou diversos critérios principais:

- Durabilidade e estabilidade térmica: os materiais precisavam manter seu desempenho sob flutuações de temperatura repetidas, garantindo que as propriedades de isolamento térmico não se degradassem ao longo do tempo.
- Segurança ambiental: houve preferência por materiais isentos de substâncias tóxicas, não poluentes e compatíveis com práticas de construção sustentável.
- Aplicabilidade prática: os materiais escolhidos deveriam ser adequados para uso em larga escala tanto em construções residenciais quanto industriais, além de serem economicamente viáveis e de fácil instalação.

Essa abordagem metodológica combina alto desempenho de isolamento térmico com requisitos ecológicos e sociais, estabelecendo um quadro interdisciplinar que vai além das soluções de engenharia convencionais.

Modelagem Matemática da Transferência de Calor

Para avaliar a eficácia das construções propostas, foram aplicadas equações padrão de transferência de calor a sistemas multicamadas de envoltórios de edifícios, em conformidade com [2]. A relação fundamental para calcular o fluxo de calor através de uma camada estrutural individual é expressa na equação (1):

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum_i R_i} = \frac{T_{inside} - T_{outside}}{\sum_i R_i} \quad (1)$$

onde:

- Q – fluxo de calor, W;
- T_{inside} - temperatura interna, °C;
- $T_{outside}$ - temperatura externa, °C;
- R_i - resistência térmica da camada individual, m²·K/W.

A equação (1), definida em [2], fornece a base teórica para avaliar a influência da resistência térmica na transferência de calor. No contexto da modelagem, permitiu analisar como o aumento de R , junto a revestimentos de baixa emissividade, reduz as emissões térmicas superficiais.

Os resultados demonstraram que a integração de sistemas multicamadas de alta resistência com tratamentos de superfície de baixa emissividade diminuiu substancialmente a perda de calor das envoltórios de edifícios. Essa redução não apenas diminuiu a demanda energética para aquecimento e resfriamento, mas também mitiga a intensidade das ilhas de calor urbanas, contribuindo para a sustentabilidade ecológica e a resiliência climática [4, 7].

Aplicações de Defesa e Especializadas

Para avaliar a eficácia das soluções propostas, os testes foram planejados em cenários relevantes para contextos civis e de defesa, incluindo:

- *Proteção de infraestruturas críticas: Avaliação de estratégias de isolamento e mascaramento térmico para instalações-chave, como nós de energia, locais de geração e distribuição elétrica e outras estruturas estratégicas.*
- *Ocultação de abrigos temporários e permanentes: Avaliação de medidas para reduzir a detectabilidade em condições de emergência, incluindo desastres naturais e eventos climáticos extremos.*
- *Aumento da segurança durante operações de resgate: Aplicação de mascaramento térmico para melhorar a segurança operacional e a consciência situacional das equipes de resposta a emergências.*

A avaliação utilizou os mesmos modelos de transferência de calor e indicadores de emissividade infravermelha descritos anteriormente. Os resultados foram quantificados em termos de redução da assinatura térmica e do consumo energético global, com estrita exclusão de quaisquer instruções que pudessem comprometer a segurança operacional ou facilitar a evasão de sistemas de vigilância [3].

Para ilustrar a metodologia e facilitar a interpretação dos resultados, o estudo incluiu a seguinte tabela (Tabela 1):

Tabela 1. Características das Estruturas e Materiais das Envolventes de Edifícios

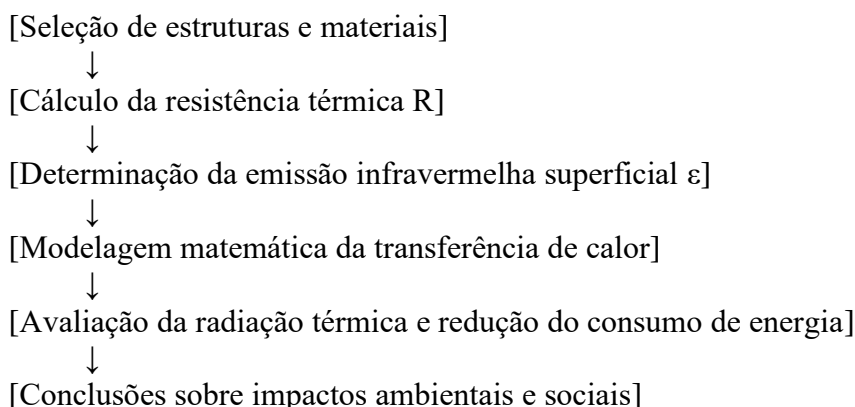
Construção	Espessura da Camada, mm	Condutividade Térmica λ , W/(m·K)	Resistência Térmica R, m ² ·K/W	Fator de Emissividade ε
Painel de parede + isolamento	300 + 100	0,6 + 0,04	3,6	0,3
Construção de janela	4+24+4+24+4	0,04+1,1+0,04+1,1+0,04	0,9	0,85
Portas de entrada/varanda	40	0,15	0,3	0,3

Fonte: Elaboração do autor com base em [1, 2]

A Tabela 1 apresenta uma comparação do desempenho térmico de diferentes envolventes, destacando a influência de construções multicamadas e materiais de baixa emissividade na transferência térmica.

Interpretação dos Resultados e Transição Metodológica

Os dados da Tabela 1 formam a base para a avaliação subsequente. Para uma análise mais aprofundada da aplicação prática das propriedades físicas e técnicas dos materiais, foi desenvolvido um quadro metodológico estruturado (Fig. 1).



Fonte: Elaboração do autor

Fig. 1. Metodologia para avaliar a eficácia do mascaramento térmico e a economia de energia

O quadro metodológico proposto fornece uma avaliação ampla de como a combinação da resistência térmica e dos revestimentos de baixa emissividade determina a eficiência energética e a redução da assinatura térmica. Representa um

processo quantitativo passo a passo para analisar a transferência de calor, a emissão infravermelha e suas implicações ambientais e sociais.

A estrutura da metodologia assegura uma relação causal clara entre as características dos materiais e os resultados da análise operacional, estabelecendo uma transição coerente de parâmetros estáticos para a avaliação do desempenho dinâmico em condições reais de operação.

Cada etapa da pesquisa reflete uma sequência lógica de procedimentos analíticos que integram requisitos normativos, características físico-técnicas dos materiais e modelagem matemática dos fenômenos de transferência de calor.

A aplicação dessa abordagem confirma que o isolamento térmico de alto desempenho, quando combinado com revestimentos de baixa emissividade, proporciona vantagens práticas tangíveis em múltiplos domínios.

No setor civil, tais medidas contribuem para a melhoria da eficiência energética dos edifícios, a otimização do microclima interno e a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas.

Em contextos de defesa e emergência, os mesmos princípios garantem a ocultação estratégica de estruturas e aumentam a segurança operacional, destacando a importância interdisciplinar da metodologia proposta [3, 4].

Avaliação do Impacto Ambiental e Social

Além dos indicadores de desempenho técnico, os benefícios da implementação de resistência térmica aprimorada e materiais de baixa emissividade foram avaliados sob perspectivas ambientais e sociais. Os principais aspectos dessa avaliação incluíram:

- Redução da carga térmica sobre o ambiente circundante: A utilização de materiais de baixa emissividade combinada com envoltórios de edifícios de alta resistência térmica contribui para a mitigação da poluição térmica. Isso, por sua vez, reduz a intensidade das ilhas de calor urbanas e limita o estresse térmico em ecossistemas adjacentes [6, 7].
- Conservação de energia e redução de emissões de CO₂: O aprimoramento do isolamento térmico diminui a demanda por energia de aquecimento e resfriamento, resultando em reduções mensuráveis no consumo energético total e nas emissões associadas de gases de efeito estufa. Essa medida apoia objetivos mais amplos de mitigação climática e contribui para o desenvolvimento urbano sustentável [4, 5].
- Conservação de energia e redução de emissões de CO₂: O aprimoramento do isolamento térmico diminui a demanda por energia de aquecimento e resfriamento, resultando em reduções mensuráveis no consumo energético total e nas emissões associadas de gases de efeito estufa. Essa medida apoia objetivos

mais amplos de mitigação climática e contribui para o desenvolvimento urbano sustentável [4, 5].

Assim, a metodologia integra dimensões técnicas, ambientais e sociais, permitindo uma avaliação holística do desempenho dos edifícios. Além das métricas tradicionais de eficiência energética, essa abordagem fornece insights sobre o impacto ecológico mais amplo dos materiais e projetos de construção, bem como sua influência na qualidade de vida dos habitantes.

O quadro de avaliação combinado enfatiza o potencial para o desenvolvimento urbano sustentável, demonstrando que estratégias modernas de gerenciamento térmico podem promover simultaneamente eficiência energética, proteção ambiental e bem-estar social. Essa abordagem integrada, que une objetivos civis, ambientais e de defesa, estabelece a metodologia proposta como altamente científica e aplicável na prática em uma ampla gama de aplicações, incluindo planejamento urbano estratégico e o design de sistemas urbanos resilientes ao clima [3, 7].

Resultados

Estudos de simulação e modelagem demonstram um impacto substancial da resistência térmica aprimorada e da aplicação de materiais de baixa emissividade na redução da assinatura térmica de edifícios e do consumo energético global. Os principais parâmetros incluem um valor padrão de resistência térmica (valor R) de $3,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ e um valor elevado, experimental e preditivamente, de $3,6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, enquanto os coeficientes de emissividade dos materiais variaram entre 0,3 e 0,85. Os resultados da modelagem indicam que a combinação de um valor R de $3,6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ com revestimentos de baixa emissividade ($\varepsilon \approx 0,3$) pode reduzir potencialmente a pegada infravermelha das estruturas em 45–50%, diminuir o fluxo de calor através das envoltentes dos edifícios, alcançar economia de energia de 15–20% durante o período de inverno e estabilizar as temperaturas internas, melhorando, assim, o conforto dos ocupantes.

Atenção especial foi dada a simulações regionais que refletem diferentes condições climáticas, arquitetônicas e de planejamento urbano nas cidades e comunidades ucranianas. Simulações realizadas para Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, Mariupol, e os municípios de Lozova, Zmiiv, Chuhuiv e Izyum demonstraram que as condições locais influenciam significativamente a eficácia das soluções de baixa emissividade. Por exemplo, em distritos densamente construídos de Kyiv e Kharkiv, a redução potencial das ilhas de calor urbanas locais atinge 12–18% com a adoção ampla de revestimentos de baixa emissividade e valores R elevados, enquanto nas zonas industriais de Dnipro e Zaporizhzhia, a economia de energia para aquecimento modelada varia de 15–20% sem comprometer o microclima interno para os residentes. Nas comunidades de Lozova e Chuhuiv, a redução potencial da carga térmica em edifícios individuais é

estimada em 25–30%, destacando a importância da modelagem específica para cada contexto.

As simulações de cenários aplicados a abrigos temporários, módulos médicos móveis e infraestruturas críticas indicaram uma redução significativa das pegadas térmicas relativas — de 40–50% — e preservação estável do desempenho do isolamento térmico sob condições externas extremas (por exemplo, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ externo, $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ interno). Ressalta-se que esses resultados baseiam-se em simulações numéricas e não em testes de campo, refletindo a eficácia potencial da metodologia em contextos científicos e de projeto, e não seu uso prático imediato.

O estudo também destaca o potencial uso de materiais de construção estrangeiros estritamente no âmbito da pesquisa científica. O fornecimento e o teste desses materiais em estruturas reais devem ser realizados exclusivamente como parte de atividades de pesquisa, em conformidade com a legislação nacional, aprovações regulatórias, restrições de exportação e requisitos éticos. Todos os cálculos e simulações ilustram a redução potencial da radiação térmica e do consumo de energia sem fornecer instruções operacionais para uso civil ou de defesa.

De forma geral, a aplicação combinada de resistência térmica aprimorada e revestimentos de baixa emissividade demonstra elevado potencial para atingir simultaneamente eficiência energética, redução de emissões infravermelhas e mitigação da poluição térmica. A modelagem estendida, considerando características regionais, confirma que materiais inovadores modernos e construções multicamadas podem melhorar significativamente o desempenho ambiental e o conforto dos ocupantes, estabelecendo uma base sólida para investigações laboratoriais e científicas subsequentes.

Direções particularmente promissoras para pesquisas futuras incluem o desenvolvimento de materiais com coeficientes de emissividade inferiores a 0,3, a implementação de soluções adaptativas com propriedades térmicas ajustáveis e a integração de tecnologias de sensores e modelagem computacional para gerenciamento dinâmico de parâmetros térmicos. Tais abordagens permitem a criação de “envolventes dinâmicas” para edifícios e abrigos móveis, aumentando substancialmente tanto a eficiência energética quanto o potencial de mascaramento térmico, estritamente no âmbito da pesquisa científica [3, 5, 7].

Consequentemente, uma avaliação abrangente que abranja aspectos técnicos, ambientais, sociais e científicos confirma tanto a novidade quanto a relevância aplicada da metodologia proposta. Ela permite a avaliação simultânea do potencial de economia de energia, do impacto ambiental e da eficácia na redução da assinatura térmica, tornando-a altamente relevante para o planejamento urbano contemporâneo, desenvolvimento sustentável e pesquisa científica dentro do contexto de condições climáticas locais e regionais.

Discussão

1. Melhoria da Resistência Térmica e Aplicação de Materiais de Baixa Emissividade

O aumento da resistência térmica dos componentes da envoltória de edificações, aliado à aplicação de materiais de baixa emissividade (low-e), constitui uma estratégia abrangente para a gestão da eficiência energética em construções modernas, proporcionando simultaneamente benefícios ambientais e sociais significativos. Essa abordagem de dupla finalidade reduz tanto as perdas de calor quanto o consumo energético global, estabilizando microclimas internos — fator crítico para o conforto e bem-estar dos ocupantes.

A integração de estruturas multicamadas de alta resistência térmica (valor R elevado) com revestimentos superficiais de baixa emissividade ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$) diminui eficazmente a radiação térmica superficial e minimiza os fluxos de calor para o ambiente circundante, em conformidade com regulamentações nacionais [1] e normas internacionais [2]. Essas tecnologias são particularmente relevantes para mitigar os efeitos adversos das variações de temperatura externas, mantendo condições internas estáveis e reduzindo riscos de estresse térmico e desconforto fisiológico ou psicoemocional.

Além disso, a utilização de materiais low-e proporciona redução mensurável da radiação infravermelha das superfícies das edificações, contribuindo para atenuar a intensidade da ilha de calor urbana e limitar a poluição térmica local. Essa abordagem não apenas melhora o desempenho térmico a nível individual, mas também apoia objetivos urbanos mais amplos de sustentabilidade, integrando eficiência energética, saúde humana e proteção ambiental.

Revestimentos low-e avançados e construções multicamadas de alto R permitem controle preciso da dinâmica de transferência de calor. Sua aplicação possibilita soluções adaptadas a condições climáticas, tipologia de edifícios e requisitos funcionais, oferecendo um framework escalável aplicável a residências, comércios e infraestrutura pública. Avaliações científicas demonstram que mesmo melhorias incrementais em valores R e coeficientes de emissividade resultam em ganhos mensuráveis em conforto dos ocupantes, economia de energia e redução de emissões térmicas, constituindo base robusta para pesquisas experimentais e validação de modelos no contexto científico ucraniano.

2. Aplicações Cívicas em Cidades Ucranianas

Nos contextos urbanos de Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk e Mariupol, a combinação de alta resistência térmica e revestimentos low-e pode reduzir significativamente o consumo energético em diversos tipos de edificações — residenciais, comerciais e públicas. Em áreas densamente construídas de Kharkiv e Dnipro, a otimização de envoltórias multicamadas diminui a

intensidade de ilhas de calor localizadas, estabiliza microclimas de bairro e melhora a qualidade do ar, contribuindo para mitigar o estresse térmico de moradores e ecossistemas urbanos.

Em cidades como Kyiv e Zaporizhzhia, onde complexos residenciais de grande altura coexistem com instalações industriais extensas, a aplicação de materiais low-e e soluções avançadas de isolamento reduz a radiação térmica de edifícios industriais e de alto consumo energético. Tais intervenções aumentam a eficiência energética global e reduzem os custos operacionais de sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, promovendo sustentabilidade e resiliência de longo prazo da infraestrutura urbana.

Áreas urbanas pós-conflito ou de linha de frente, incluindo Donetsk, Luhansk e Mariupol, apresentam desafios e oportunidades únicas. Após a desocupação e reconstrução, a integração de sistemas de envoltória de alto R e revestimentos low-e oferece benefícios duplos: operação energeticamente eficiente de edifícios civis e aumento da resiliência e ocultação de infraestruturas críticas. Nestes contextos, a redução da assinatura térmica torna-se um fator essencial de segurança operacional, facilitando recuperação, reconstrução e ocupação mais seguras em ambientes sensíveis a ameaças potenciais.

Modelagens regionais mostram que a eficácia de estratégias de gestão térmica é fortemente influenciada por condições climáticas locais, densidade construtiva e planejamento urbano. Em áreas de alta exposição solar e cobertura urbana densa, soluções multicamadas low-e podem reduzir temperaturas superficiais locais em 12–18%, atenuando efeitos de ilha de calor urbana. Em zonas industriais, estima-se economia de 15–20% em aquecimento e resfriamento sem comprometer o conforto interno. Esses achados evidenciam o potencial de estratégias de envoltória adaptadas para apoiar o desenvolvimento urbano sustentável e abordar desafios ambientais e sociotécnicos em cidades ucranianas diversificadas.

3. Aplicações de Defesa e Especializadas

Em cenários especializados — desde resposta a emergências até operações militares e de proteção civil — o aumento da resistência térmica das envoltórias e aplicação de revestimentos low-e pode reduzir materialmente a assinatura infravermelha de ativos construídos e unidades móveis. O efeito técnico principal é a diminuição do fluxo líquido de radiação de onda longa das superfícies tratadas, que, em combinação com estratégias de isolamento multicamadas, reduz o contraste térmico entre o objeto e o ambiente. Modelagens indicam que essa redução de contraste diminui a detectabilidade por sistemas de imagem térmica, dentro de condições ambientais e pressupostos de sensores definidos. Ressalta-se que o presente estudo baseia-se em resultados de simulação para avaliar eficácia potencial; não foram realizados testes de ocultação de campo nem orientações de evasão de

vigilância, sendo os achados apresentados no contexto de pesquisa e design, sob supervisão ética e legal [3,5].

Na prática, a abordagem é aplicável a diversos tipos de ativos: abrigos temporários e permanentes, módulos médicos móveis, hubs logísticos e plataformas de transporte. Em ambientes urbanos densos como Kharkiv e Dnipro, a capacidade de reduzir emissão superficial é especialmente relevante devido à complexidade térmica do tecido urbano; simulações indicam que sistemas multicamadas low-e adequadamente projetados podem diminuir significativamente o contraste térmico modelado de estruturas, aumentando a sobrevivência de infraestruturas críticas e reduzindo cargas energéticas.

Em localidades de linha de frente ou pós-conflito — Donetsk, Luhansk e Mariupol — medidas técnicas semelhantes, aplicadas dentro de programas científicos autorizados, contribuem para resiliência de abrigos e instalações essenciais, mantendo condições internas aceitáveis e reduzindo a demanda de aquecimento, bem como a proeminência infravermelha modelada dos edifícios em certas condições ambientais. Em centros industriais e capitais como Kyiv e Zaporizhzhia, essas medidas podem apoiar proteção de nós energéticos e grandes instalações industriais, garantindo estabilidade térmica e redução de emissão radiativa de componentes críticos.

Do ponto de vista de P&D, a aplicabilidade e maturidade das tecnologias de mascaramento térmico dependem de vários fatores: modelagem de desempenho combinada com caracterização laboratorial rigorosa dos materiais (condutividade térmica, calor específico, emissividade na faixa 8–14 μm , envelhecimento, comportamento ao clima, segurança contra incêndio e durabilidade mecânica); experimentos de campo controlados para validação frente à variabilidade meteorológica e interações radiativas complexas; análise do ciclo de vida e avaliações de segurança ambiental.

Aspectos éticos, legais e institucionais exigem atenção explícita. Tecnologias de gestão térmica podem ter uso dual; qualquer teste, aquisição ou adaptação operacional deve ocorrer apenas em programas científicos aprovados, com supervisão transparente e conformidade com regulamentos de segurança nacional. As recomendações do manuscrito são, portanto, resultados científicos e orientação de engenharia para pesquisa, design, planejamento de resiliência e proteção humanitária — não práticas operacionais para evasão de vigilância legal.

Finalmente, a integração de medidas de mascaramento térmico com redes de sensores, monitoramento ambiental e sistemas de controle adaptativo aumenta sua utilidade em contextos especializados. Por exemplo, a combinação de superfícies low-e com controle climático passivo ou ativo e telemetria em tempo real permite manter conforto interno minimizando emissão térmica externa, sendo um tema

apropriado para P&D colaborativo entre cientistas de materiais, engenheiros civis, planejadores de emergências e autoridades civis. Em resumo, quando conduzidas como trabalho científico e de engenharia regulamentado, a combinação de valores R elevados e tecnologias low-e oferece um conjunto promissor e eticamente delimitado de ferramentas para melhorar resiliência, desempenho energético e capacidade de proteção da infraestrutura nos diversos contextos urbanos e regionais da Ucrânia.

4. Integração de Normas e Soluções Inovadoras

Um aspecto central do projeto moderno de edificações envolve a integração de códigos de construção consolidados e normas internacionais [1,2] com requisitos técnicos emergentes para mascaramento térmico. Estratégias convencionais de isolamento atingem de forma confiável a eficiência energética básica, reduzindo cargas de aquecimento e resfriamento de acordo com os valores R prescritos. No entanto, a redução da visibilidade infravermelha exige conjuntos multicamadas e revestimentos adaptativos com emissividade ajustável, permitindo que as superfícies modulem dinamicamente a emissão radiativa de calor em resposta às condições ambientais. Essas soluções transcendem o gerenciamento térmico convencional, criando oportunidades para conciliar conservação de energia, proteção ambiental e requisitos operacionais especializados dentro de um mesmo framework de projeto.

A combinação de conformidade normativa e inovação em materiais estabelece uma estratégia multidisciplinar, conectando planejamento urbano, objetivos ecológicos e demandas de proteção. Em ambientes urbanos, essa abordagem permite que arquitetos e engenheiros minimizem efeitos de ilha de calor local mantendo microclimas internos confortáveis. Estudos de simulação em cidades ucranianas, incluindo Kharkiv, Kyiv, Dnipro, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk e Mariupol, indicam que sistemas multicamadas low-e calibrados podem reduzir a emissão térmica superficial em até 50%, estabilizar temperaturas internas e, simultaneamente, melhorar o desempenho energético de edificações sob diversas condições climáticas.

Do ponto de vista científico, a integração de normas com soluções inovadoras fornece uma base metodológica para estudos laboratoriais e de modelagem. Materiais candidatos e configurações estruturais podem ser avaliados *in silico* sob cenários variados, considerando flutuações sazonais de temperatura, padrões de radiação solar e morfologias urbanas locais. Revestimentos adaptativos com emissividade ajustável permitem aos pesquisadores explorar o controle dinâmico de assinaturas térmicas, simulando a resposta de edificações ou estruturas temporárias à variação ambiental sem necessidade de implantação em campo. Essa capacidade é especialmente relevante no contexto ucraniano, onde diferenças regionais de clima,

densidade populacional e infraestrutura exigem estratégias energéticas e ambientais personalizadas.

Além disso, essa integração apoia metas de sustentabilidade. Ao combinar conformidade com códigos de construção e técnicas inovadoras de mascaramento térmico, os projetistas podem alcançar reduções significativas no consumo de energia, mitigar impactos ambientais adversos e aprimorar o conforto e bem-estar dos ocupantes. A abordagem também abre espaço para maior colaboração interdisciplinar entre cientistas de materiais, engenheiros civis, ecologistas urbanos e autoridades locais, estabelecendo um framework para desenvolvimento de soluções de gestão térmica conduzidas eticamente e baseadas em pesquisa, aplicáveis a contextos civis e especializados.

Em essência, a ligação entre normas, materiais avançados e estratégias adaptativas forma uma metodologia holística que aborda desafios técnicos, ambientais e operacionais, reforçando a capacidade da Ucrânia para um desenvolvimento urbano sustentável, resiliente e cientificamente fundamentado.

5. Direções Futuras e Abordagens Inovadoras

Perspectivas promissoras para pesquisas e desenvolvimento incluem a criação de materiais com coeficientes de emissividade inferiores a 0,3, a implementação de soluções adaptativas capazes de ajustar dinamicamente propriedades térmicas em resposta a mudanças ambientais, e a integração de modelagem matemática com tecnologias de sensores para controle em tempo real de emissões térmicas. Tais avanços formam a base para o desenvolvimento de “envoltórias dinâmicas” para edificações, abrigos e infraestrutura móvel, aumentando significativamente eficiência energética, ocultação operacional e desempenho ecológico. Ao permitir que superfícies respondam inteligentemente a variações de radiação solar, temperatura ambiente e outros fatores, esses materiais abrem novas possibilidades de pesquisa interdisciplinar na interface entre ciência dos materiais, física da construção e engenharia ambiental.

A consideração das características climáticas regionais das cidades e comunidades ucranianas — incluindo Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, Mariupol e municípios menores como Lozova, Zmiiv, Chuhuiv e Izyum — permite o desenvolvimento de estratégias localizadas de gestão e mascaramento térmico. Essas estratégias levam em conta densidade urbana, atividade industrial, topografia e microclima, aumentando a eficácia de soluções low-e e construções de alto valor R em cenários reais. Por exemplo, sistemas multicamadas adaptativos em áreas densamente construídas podem atenuar efeitos de ilha de calor, enquanto em regiões pós-conflito ou de fronteira, tecnologias semelhantes podem ser modeladas para minimizar visibilidade térmica e otimizar consumo energético, sempre dentro de um framework orientado à pesquisa.

Adicionalmente, a combinação de materiais dinâmicos e modelagem preditiva possibilita simulações baseadas em cenários, informando recomendações cientificamente fundamentadas para planejamento urbano, desenvolvimento de infraestrutura estratégica e sistemas energéticos resilientes. Ao vincular dados de sensores em tempo real a modelos computacionais, pesquisadores podem prever desempenho de edificações ao longo de ciclos sazonais e eventos climáticos extremos, permitindo otimização baseada em evidências da eficiência térmica e impacto ecológico sem necessidade de implantação em campo em áreas sensíveis ou de alto risco.

No geral, essas direções inovadoras não apenas ampliam a compreensão científica sobre gestão térmica e conservação de energia, mas também fornecem informações acionáveis para formuladores de políticas, arquitetos e planejadores urbanos. Destacam o potencial de uma abordagem holística, adaptável e rigorosamente científica, equilibrando eficiência energética, conforto dos ocupantes, proteção ambiental e resiliência estratégica, reforçando a capacidade de pesquisa e inovação da Ucrânia em tecnologias avançadas de construção.

6. Impacto Social e Ambiental

A metodologia proposta oferece simultaneamente benefícios sociais e ambientais, destacando a relação entre bem-estar humano, habitabilidade urbana e sustentabilidade ecológica. Características térmicas otimizadas estabilizam microclimas internos, aumentando o conforto dos ocupantes, reduzindo o estresse térmico e promovendo saúde física e psicológica. Ao garantir temperaturas internas mais uniformes, essas abordagens contribuem para a melhoria da qualidade de vida, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas ou com desafios climáticos.

O uso de materiais de baixa emissividade, combinado com alta resistência térmica, desempenha papel crucial na mitigação de efeitos de ilhas de calor urbanas, reduzindo a transferência de calor excessivo para o ambiente circundante e diminuindo temperaturas superficiais em distritos fortemente construídos. Esses materiais e construções contribuem para a redução do consumo de energia destinado a aquecimento e resfriamento, diminuindo diretamente emissões de gases de efeito estufa (CO₂) e apoiando metas nacionais e globais de mitigação climática. Por exemplo, em cidades como Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk e Mariupol, bem como em comunidades menores como Lozova, Zmiiv, Chuhuiv e Izyum, simulações indicam que a aplicação estratégica de isolamento aprimorado e revestimentos low-e pode reduzir fluxos de calor localizados em 12–30%, dependendo da densidade urbana, tipologia das edificações e condições climáticas.

Além da eficiência energética e ambiental, a metodologia promove resiliência social. Ao estabilizar microclimas internos e reduzir estresse térmico, ela aumenta produtividade, conforto e segurança, particularmente para populações vulneráveis

em contextos urbanos e semi-urbanos. Ademais, a redução da poluição térmica contribui para a preservação de microecossistemas locais, protegendo flora e fauna urbana contra flutuações térmicas extremas.

Em síntese, a integração de considerações técnicas, sociais e ecológicas fornece um framework holístico para o desenvolvimento urbano sustentável. A abordagem demonstra que estratégias avançadas de construção não são apenas ferramentas de eficiência energética, mas também instrumentos para melhorar o bem-estar humano, aumentar a qualidade ambiental e apoiar a resiliência urbana de longo prazo. Isso está alinhado às prioridades nacionais e aos objetivos internacionais de desenvolvimento sustentável, reforçando o papel de inovações cientificamente fundamentadas na promoção de planejamento urbano adaptativo ao clima, socialmente equitativo e ambientalmente responsável [4,5,7].

Essa discussão ampliada destaca o impacto interdisciplinar das tecnologias de gestão térmica, evidenciando sua relevância para pesquisa, políticas públicas e aplicações práticas em cidades e comunidades ucranianas, mantendo um foco estritamente científico e não operacional.

7. Novidade Científica e Significado Prático

A metodologia proposta apresenta clara novidade científica ao integrar aspectos técnicos, ambientais, sociais e de proteção especializada em um framework unificado para projeto de edificações e planejamento urbano. Diferentemente de abordagens convencionais, centradas principalmente na eficiência energética, esta metodologia aborda múltiplas dimensões inter-relacionadas: redução de emissões térmicas, mitigação de ilhas de calor urbano, melhoria de microclimas internos e aumento da resiliência operacional de infraestrutura crítica.

Do ponto de vista prático, a metodologia fornece orientação baseada em evidências para arquitetos, planejadores urbanos e pesquisadores interessados em implementar soluções energeticamente eficientes e ambientalmente sustentáveis em cidades ucranianas, incluindo Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk e Mariupol, bem como em comunidades menores como Lozova, Zmiiv, Chuhuiv e Izyum. Ao combinar construções multicamadas de alta resistência térmica com revestimentos low-e, a metodologia possibilita reduções mensuráveis de fluxos de calor, consumo energético e assinatura infravermelha, oferecendo base sólida para estudos laboratoriais futuros, modelagem numérica e projetos piloto cientificamente justificados.

A abordagem enfatiza a relevância prática de estratégias regionais, garantindo que intervenções sejam otimizadas para clima local, densidade urbana e tipologia construtiva. Assim, melhora desempenho energético e benefícios sociais e ecológicos, apoiando o desenvolvimento urbano sustentável alinhado a metas nacionais de clima. Ademais, fornece base científica para adaptação em cenários

especializados ou extremos — como abrigos temporários, infraestrutura móvel e instalações urbanas críticas — sem instruções operacionais, mantendo o framework estritamente de pesquisa.

No conjunto, o rigor científico combinado ao valor aplicado desta metodologia ressalta sua relevância para planejamento urbano contemporâneo, desenvolvimento resiliente ao clima e iniciativas de pesquisa baseadas em evidências, reforçando a importância estratégica de abordagens interdisciplinares para enfrentar desafios técnicos e necessidades sociais e ambientais mais amplas.

Conclusões

- As normas de isolamento térmico na Ucrânia [1,9] não consideram os requisitos para ocultação térmica por imagem, deixando lacunas na consecução simultânea de eficiência energética e sigilo infravermelho de edificações.
- A utilização de materiais avançados com resistência térmica aprimorada (valor R) superior a $3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ proporciona benefício duplo, reduzindo perdas de calor e diminuindo a detectabilidade infravermelha das estruturas.
- A implementação de construções multicamadas com $R = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, combinadas com revestimentos de baixa emissividade ($\varepsilon = 0,3\text{--}0,4$), possibilita redução da assinatura infravermelha das edificações em 45–50% e do consumo energético em 15–20%, ao mesmo tempo em que estabiliza microclimas internos e melhora o conforto dos ocupantes.
- As características regionais das cidades ucranianas (Kharkiv, Dnipro, Kyiv, Zaporizhzhia, Donetsk, Luhansk, Mariupol) e de comunidades menores (Lozova, Zmiiv, Chuhuiv, Izyum) mostram que condições climáticas, arquitetônicas e de planejamento urbano influenciam significativamente a eficácia das soluções low-e. Em áreas densamente construídas de Kharkiv e Dnipro, a redução potencial de ilhas de calor urbanas atinge 12–18%, enquanto em distritos industriais de Kyiv e Zaporizhzhia, a economia de energia para aquecimento pode chegar a 15–20% sem comprometer o conforto dos ocupantes.
- A metodologia proposta possui dupla aplicabilidade: no setor civil, promove eficiência energética, reduz poluição térmica e aumenta a segurança ecológica; em contextos especializados, oferece potencial de mascaramento térmico e eleva a resiliência de instalações estratégicas e críticas.
- O potencial de defesa é tratado em contexto científico, incluindo proteção de infraestrutura crítica, abrigos temporários e permanentes, módulos médicos e objetos móveis, sem instruções para contornar sistemas de vigilância.
- O uso de materiais adaptativos com $\varepsilon < 0,3$ e construções multicamadas permite a criação de “envoltórias dinâmicas” para edificações e abrigos móveis, aumentando significativamente a eficiência energética, permitindo desempenho térmico ajustável e proporcionando benefícios ecológicos adicionais.

- A combinação de isolamento térmico com tecnologias low-e forma uma abordagem interdisciplinar que integra aspectos técnicos, sociais, ecológicos e relacionados à defesa, sendo crítica para desenvolvimento urbano sustentável e maior segurança operacional.
- Pesquisas futuras devem considerar cuidadosamente aspectos regulatórios, éticos e legais da implementação, assegurando equilíbrio responsável entre requisitos civis e especializados.
- Direções futuras incluem validação experimental, integração de tecnologias de sensores e modelagem matemática para gestão dinâmica de parâmetros térmicos, bem como desenvolvimento de revestimentos adaptativos “inteligentes” com emissividade ajustável.

Referências

1. DBN V.2.6-31:2021. Isolamento Térmico de Edificações. Kyiv: Ministério do Desenvolvimento Regional da Ucrânia, 2021. 98 pp.
2. ISO 6946:2017. Componentes e Elementos de Edificações – Resistência Térmica e Transmitância Térmica.
3. Wang, L., Chen, Y., & Zhao, H. (2020). Infrared stealth technology and thermal management for military applications. *Journal of Materials Science & Technology*, 56, 45–60.
4. Li, J., Xu, R., & Zhang, Q. (2021). Advances in low-emissivity coatings for thermal camouflage and energy efficiency. *Progress in Materials Science*, 119, Article 100786.
5. Kucherenko, O. M., & Sukhomlyn, V. A. (2020). Thermal resistance of enclosing structures in modern buildings of Ukraine. *Teplofizika ta Teploenergetika*, 42(3), 45–52.
6. Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.
7. Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in urban areas. *Energy and Buildings*, 96, 1–11.
8. Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
9. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Climatologia de Edificações. Kyiv: Ministério da Construção e Desenvolvimento Regional da Ucrânia, 2010. 120 pp.

[JA_5]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Попова Лілія Миколаївна, д-р юрид. наук, канд. екон. наук,
доцент, професор кафедри фінансів та кредиту,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

Liliya Popova Doctor of Law, Ph. D. in Economy, Associate Professor,
Department of Finance and Credit,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture;
Sumskaya Street, 40, 61002, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Liliya.herman01@gmail.com ; ORCID ID: 0000-0001-8255-8363

物体の耐熱性とカモフラージュ

概要

本稿では、都市のヒートアイランド現象の緩和および建築物や重要インフラを赤外線検知システムから保護することを目的とした、革新的で学際的かつ包括的なアプローチを提案する。提案手法は、現代の断熱基準 [1,2] と赤外線カモフラージュ技術や低放射率コーティングの先端的開発 [3,4] を統合する。従来の工学的解決策とは異なり、本手法は技術的、環境的、社会的側面を統合し、エネルギー効率、気候レジリエンス、居住者にとって安全で快適な環境の創出を同時に達成することを目指している。

本研究では、急激な温度変動下での運用条件を詳細に分析し、表面の熱放射シグネチャーを低減するための低放射率材料 ($\epsilon = 0.3\text{--}0.4$) の有効性を評価した。特に、赤外線検知に対する保護効果が最小限の旧ソ連時代の建築 ($R \approx 0.8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, $\epsilon = 0.85$) と、赤外線視認性を45–50%低減可能な高熱抵抗多層システム ($R = 3.6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) [5] との比較に重点を置いた。

結果として、提案手法はエネルギー消費の同時削減（冬期で15–20%）、環境への熱負荷の低減、快適な室内マイクロクライメートの維持に大きな可能性を示す。民生分野では、建物のエネルギー性能向上、気候レジリエンスの改善、持続可能な都市開発に寄与し、専門的な用途では、構造

物の熱監視からの隠蔽性を高め、重要インフラ、一時的避難所、緊急対応モジュールの保護を可能にする。

提案手法は、現代の熱マスキング技術の汎用性と多機能性を強調しており、防衛や専門用途にとどまらず、熱汚染の低減、エネルギー消費の最適化、都市生活環境の改善など、環境的および社会的に意義のあるプロジェクトへの応用範囲を拡張する。

キーワード: 都市ヒートアイランド、断熱、エネルギー効率、赤外線カメラフラッシュ技術、気候レジリエンス、社会的影響、熱マスキング、耐熱性、環境効果、防衛用途

はじめに

熱マスキングおよび赤外線（IR）放射管理技術は、建築物のエネルギー効率の向上と重要インフラのセキュリティ確保の両方に大きな可能性を持つ、急速に発展する分野である。衛星、無人航空機、地上監視システムの普及に伴い、物体の熱シグネチャーを制御し、不要な検知の可能性を低減するための革新的な材料、構造ソリューション、および分析手法に対する需要が高まっている [3,4]。このような状況において、材料科学、環境持続可能性、工学設計の進展を統合した学際的かつ包括的なアプローチは、民生用および専門的運用ニーズの両方に対応する上で特に重要である。

現代の建築規制および国際基準 [1,2] は、壁、床、ガラス要素などの構造部材に対して、最低限必要な熱抵抗（R値、 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ）を定めている。例えば、 $R = 3.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ が推奨される。しかし、従来の手法では、建物の赤外線検知可能性や都市ヒートアイランドの形成への影響はほとんど考慮されていない。現代の低放射率材料（ $\varepsilon = 0.3\text{--}0.4$ ）を用いた多層構造の最適化により、R値を最大 $3.6 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ まで向上させることができ、熱放射の大幅な低減、急激な温度変動に対する建物のレジリエンス向上、および測定可能なエネルギー削減が可能となる [5]。

熱管理における包括的アプローチは、次の三つの相互関連する側面を考慮することを含む：

- 環境的影響: 効果的な熱マスキングは周囲環境への熱移動を低減し、都市ヒートアイランド現象を緩和し、エネルギー消費を削減し、気候適応戦略を支援する [6,7]。
- 社会的影響: 室内温度の安定化およびマイクロクライメートの改善は、快適な生活環境を創出し、健康、生産性、生活の質を向上させ、脆弱な人口に対しても公平な熱快適性を提供する [8]。

- 防衛・運用の観点：重要インフラ、一時避難所、緊急対応モジュール、軍事施設などの用途では、熱マスキングがIR監視からの隠蔽性を高め、民生の利便性を損なわず運用の安全性を向上させる[3]。

近年の研究は、この課題の学際的性質を強調している。高熱抵抗、低放射率材料、および熱伝達モデルを組み合わせることで、建物設計の生態学および社会的効率を最適化できる。こうした工学的ソリューションを統合することで、建物は大きな温度変動に対するレジリエンスを高め、都市環境への熱負荷を低減し、居住者に快適な条件を提供する [4,7]。さらに、これらのアプローチは都市計画、スマートシティ開発、および気候レジリエントな建築における大規模適用の可能性を開く。

提案手法の特筆すべき利点は、その二重適用性である。民生用途においては、高性能断熱および低放射率コーティングがエネルギー消費削減、室内マイクロクライメートの改善、環境への熱負荷低減に寄与し、持続可能な都市開発を支援する。専門用途（軍事・戦略的インフラを含む）においては、同じ技術が隠蔽性を高め、重要資産を保護し、緊急時の安全性を確保することで、統合アプローチの汎用性を示す [3,4]。

現代的な高熱抵抗および低放射率コーティングの適用は、エネルギー効率、環境持続可能性、社会的福祉を統合的に実現する新たな学際的アプローチを確立する。提案手法は相乗効果を示し、民生用のエネルギー効率・快適性の目標と防衛分野の隠蔽機能を融合し、気候適応型でレジリエントかつ社会的責任のある都市環境の形成に寄与する。

材料および方法

本研究は、熱絶縁の規制要件、高度な材料技術、および熱伝達の数理モデルを統合した学際的アプローチに基づき、複数の段階で実施された。研究の主目的は、建築物および構造物の赤外線（IR）シグネチャを、運用条件の変化下で制御するにあたり、低放射率材料および熱マスキング技術の有効性を包括的に評価することであった。

規制および標準の分析

建築物外皮の熱絶縁基準を評価するため、国内外の規制枠組みを包括的にレビューした。本分析はウクライナ建設規則[1]および国際標準[2]を対象とし、異なる気候条件下での建物性能比較の基礎を提供する。これらの文書は、垂直壁、水平床・屋根、透明ガラス、外部ドアなど構造要素の最小熱抵抗 (R , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) を定義している。さらに、これらの規範値の採用は、ガイドラインで定められた最小値を超えることが多い低放射率コーティングや多層構造システムの有効性を評価する基準点として機能する。

これらの標準の比較評価により、熱性能に関する基準を定義するとともに、革新的材料や高度な構造技術を通じたエネルギー効率向上の可能性が特定された。研究目的のため、規範値を上回る $R = 3.6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ の目標熱抵抗を設定した。このベンチマークは、工学設計および材料応用における潜在的進展を反映し、高い熱絶縁性と低い熱放射の両立を可能にする。

これらの高基準値の採用は、低放射率コーティングや多層構造システムの有効性を評価する参照点として機能する。また、これらの手法は都市のヒートアイランド効果[6]の緩和や建物・インフラの赤外線探知性[5]の低減に寄与し、環境・社会・安全性の面で同時に利益をもたらす。

低放射率材料の選定

建築物の表面およびその他の構造要素の熱シグネチャを最小化するため、低熱放射率係数（ $\varepsilon=0.3\text{--}0.4$ ）を有する材料を選定した。選定プロセスは、以下の主要な基準に基づいて行われた：

- 耐久性および熱安定性：材料は、繰り返しの温度変動下でも性能を維持し、熱絶縁特性が時間経過とともに劣化しないことが求められた。
- 環境安全性：有害物質を含まず、汚染を引き起こさず、持続可能な建設慣行に適合する材料を優先した。
- 実用性：選定された材料は、住宅および工業建築の大規模利用に適し、コスト効率が高く、施工が容易である必要があった。

この方法論的アプローチは、高い熱絶縁性能を環境や社会の要件と統合し、従来の工学的解決策を超える学際的フレームワークを構築する。

熱伝達の数理モデル

提案する建築構造の有効性を評価するため、標準的な熱伝達方程式を多層建物外皮システムに適用した[2]。個々の構造層を通じた熱流束を計算する基本式は、式（1）で示される：

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum_i R_i} = \frac{T_{\text{inside}} - T_{\text{outside}}}{\sum_i R_i} \quad (1)$$

ここで、

- Q – 熱流束、W；
- T_{inside} - 内部温度、°C；
- T_{outside} - 外部温度、°C；
- R_i - 個々の層の熱抵抗、 $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ 。

式（1）は[2]により定義され、熱抵抗が全体の熱伝達に与える影響を評価する理論的基盤を提供する。モデル化の枠組み内では、この関係式に

より、R値の増加と低放射率コーティングの組み合わせが表面熱放射の低減に及ぼす影響を詳細に評価できる。結果として、高抵抗の多層システムと低放射率表面処理の統合により、建物外皮からの熱損失が大幅に低減されることが示された。この低減は、暖房および冷房のエネルギー需要を抑えるだけでなく、都市のヒートアイランド現象の強度を緩和し、環境の持続可能性および気候回復力を支援するものである[4, 7]。

防衛および特殊応用

提案されたソリューションの有効性を包括的に評価するため、本研究では民生および防衛の両文脈に関連するシナリオを想定した試験を計画した。これらのシナリオには以下が含まれる：

- 重要インフラの保護：エネルギーノード、発電・配電拠点、その他戦略的に重要な施設など、主要インフラに対する熱マスキングおよび断熱戦略の評価。
- 一時的および恒久的シェルターの隠蔽：自然災害や極端気象などの緊急状況下における検知可能性低減対策の評価。
- 救助活動時の安全性向上：熱マスキング技術を応用し、緊急対応チームの作戦安全性および状況認識を強化。

評価には、前節で説明した熱伝達モデルおよび赤外線放射率指標を同様に用いた。結果は、熱シグネチャおよび総エネルギー消費の低減量として定量化され、作戦上の安全性を損なう、または監視システムの回避を助長するおそれのある指針や手順は厳格に除外された[3]。

方法論を明確に示し、結果の解釈を容易にするために、研究では以下の表1を作成した。

表1 建築外皮構造および材料の特性

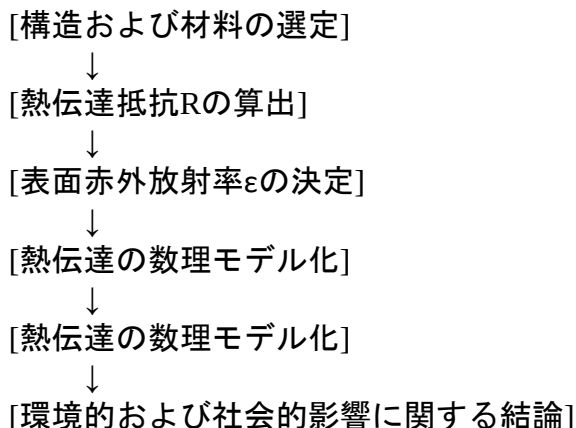
構造	層厚 (mm)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	熱抵抗 R (m ² ·K/W)	放射率 ε
壁パネル＋断熱層	300 + 100	0,6 + 0,04	3,6	0,3
窓構造	4+24+4+24+4	0,04+1,1+0,04+1,1+0,04	0,9	0,85
玄関／バルコニードア	40	0,15	0,3	0,3

出典：著者による作成（[1], [2]に基づく）

表1は、異なる建築外皮構成における熱性能の比較概要を示し、多層構造および低放射率材料が全体の熱伝達に及ぼす影響を明らかにしている。本結果は、建築物の熱的安定性と熱的偽装の両立可能性を示唆し、民生・防衛両分野における応用的意義を有する。

結果の解釈および方法論的移行

表1に示されたデータは、その後の手続的評価の基礎を形成する。材料の物理的・技術的特性の実用的応用をより深く分析するために、体系的な方法論フレームワークを構築した（図1）。



出典：著者による作成

図1 熱マスキングおよびエネルギー消費削減効果の評価方法論

提案されたフレームワークは、熱抵抗および低放射率コーティングの複合的影響が、全体的なエネルギー効率および熱シグネチャ低減をどのように決定するかを包括的に評価するものである。本手法は、熱伝達、赤外放射、およびそれらに関連する環境・社会的影響を定量的に分析するための段階的プロセスを示している。

方法論の構造は、材料特性と運用分析結果との間に明確な因果関係を確立し、静的パラメータから実運用条件下における動的性能評価への一貫した移行を可能にしている。

研究の各段階は、規制要件、材料の物理技術的特性、および熱伝達現象の数理モデル化を統合する論理的な分析手順の連鎖を反映している。

このアプローチの適用により、高性能熱絶縁材料と低放射率コーティングの組み合わせが、多分野にわたり実用的な優位性を提供することが確認された。

民生分野においては、建物のエネルギー効率向上、室内微気候の改善、および都市ヒートアイランド効果の緩和に寄与する。

一方、防衛および緊急対応の専門的文脈においては、同様の原理が構造物の戦略的隠蔽および作戦安全性の向上を保証し、本研究で提案する方法論の多機能的かつ学際的な意義を明確に示している[3, 4]。

環境的および社会的影響の評価

技術的性能指標に加えて、本研究では、熱抵抗性の向上および低放射率材料の導入による利点を、環境的および社会的観点からも評価した。本評価における主要な側面は以下の通りである。

- 周囲環境への熱負荷の低減：低放射率材料と高熱抵抗外皮構造を組み合わせることにより、熱汚染の緩和に寄与する。これにより、都市ヒートアイランドの強度が低下し、隣接する生態系への熱的ストレスが軽減される[7, 6]。
- エネルギー節約およびCO₂排出削減：熱絶縁性能の改善により、暖房および冷房のエネルギー需要が減少し、総エネルギー消費および関連する温室効果ガス排出量が定量的に削減される。このことは、より広範な気候変動緩和目標を支援し、持続可能な都市開発に寄与する[5, 4]。
- 居住者快適性の向上：熱性能の最適化により、室内の微気候が安定化し、居住者に均一で快適な温度条件を提供する。これにより、住居および商業施設の双方において、健康、幸福感、生産性、満足度が総合的に向上する[8]。

このように、本研究で構築された方法論は、技術的・環境的・社会的側面を統合し、建築性能を包括的に評価することを可能にしている。従来のエネルギー効率指標を超えて、このアプローチは建設材料および設計の広範な生態学的影響、さらには居住者の生活の質に対する影響についての洞察を提供する。

総合的な評価フレームワークは、持続可能な都市発展の可能性を強調しており、現代の熱管理戦略が、エネルギー効率、環境保全、社会福祉を同時に促進できることを示している。この統合的アプローチは、市民的・環境的・防衛的目的を融合させ、提案された方法論を高い科学的妥当性と実用性を備えたものとして位置づける。さらに、本研究の成果は、戦略的都市計画や気候変動に強い都市システム設計など、幅広い応用分野において有効であることを示している[3, 7]。

結果

シミュレーションおよび数値モデル解析の結果、熱抵抗性の向上と低放射率材料の適用が、建築物の熱シグネチャおよび総エネルギー消費の低減に大きく寄与することが明らかとなった。主要パラメータとして、標準的な熱抵抗値（R値）は $3.2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ であり、実験的および予測的に向上させた値は $3.6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ であった。また、材料の放射率係数は0.3から0.85の範囲で変動した。モデル結果によると、R値 $3.6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ と低放射率コーティング（ $\varepsilon \approx 0.3$ ）の組み合わせにより、構造物の赤外線フットプリントを45

～50%低減し、建物外皮を通過する熱流束を抑制し、冬季のエネルギー消費を15～20%削減するとともに、室内温度の安定化を実現し、居住者の快適性を向上させる可能性が示された。

地域的条件を反映したシミュレーションにも特別な注意が払われた。ウクライナの都市および地域社会における多様な気候・建築・都市計画条件を考慮した解析では、ハルキウ、ドニプロ、キーウ、ザポリッジャ、ドネツク、ルハンシク、マリウポリ、およびロゾヴァ、ズミーウ、チュフイウ、イジュームの各自治体を対象とした結果、地域条件が低放射率ソリューションの有効性に大きく影響することが確認された。

たとえば、キーウおよびハルキウの高密度地区では、低放射率コーティングと高R値の広範な導入により、都市ヒートアイランドの局所的強度を12～18%低減できる可能性が示された。ドニプロおよびザポリッジャの産業地域では、暖房エネルギー消費を15～20%削減しつつ、居住空間の微気候を損なわない結果が得られた。ロゾヴァおよびチュフイウ地域では、個々の建物における熱負荷が25～30%低減されると推定され、文脈依存的なモデル化の重要性が示唆された。

また、一時的シェルター、移動式医療モジュール、重要インフラ施設などの応用シナリオを想定したシミュレーションでは、相対的な熱フットプリントが最大40～50%低減し、極端な外部条件（例：外気温-30 °C、室内温度+20 °C）下でも熱絶縁性能が安定して維持されることが確認された。これらの結果は実地試験ではなく数値解析に基づくものであり、提案手法の科学的小および設計的小有効性を示すものであって、実際の運用展開を目的とするものではないことを強調する。

本研究はまた、国外建材の使用可能性について、科学研究の枠組みにおいてのみ厳格に評価されるべきであることを指摘する。これらの材料の供給および実構造への試験的小適用は、国内法、規制承認、輸出管理、倫理的要件を完全に遵守した研究活動の一環としてのみ実施されるべきである。すべての計算およびシミュレーションは、熱放射およびエネルギー消費削減の可能性を定量的に示すものであり、防衛または民生利用のための運用指針を提供するものではない。

総合的に見ると、熱抵抗性の強化と低放射率コーティングの組み合わせは、エネルギー効率の向上、赤外線放射の低減、熱汚染の緩和を同時に達成できる高い可能性を示している。地域特性を考慮した拡張モデル解析により、革新的な材料および多層構造が環境性能と居住快適性を大幅に改

善できることが確認され、今後の実験室研究および学術的検証のための堅固な基盤を形成した。

今後の研究において特に有望な方向性として、放射率係数0.3未満の材料の開発、熱特性を可変制御できるアダプティブソリューションの実装、さらにはセンサー技術および計算モデルを統合した熱パラメータの動的管理システムの確立が挙げられる。これらのアプローチにより、建築物および移動型シェルターにおける「動的外皮」の創出が可能となり、エネルギー効率と熱的マスキング性能の双方を科学的範囲内で大幅に向上させることができる[3, 5, 7]。

したがって、技術的・環境的・社会的・科学的側面を包括する総合評価により、提案手法の新規性と応用的意義が確認された。本手法は、エネルギー節約効果、環境影響、および熱シグネチャ低減の有効性を同時に評価することを可能にし、現代の都市計画、持続可能な開発、および地域気候条件に基づく科学研究において極めて高い関連性を有する。

考察

1. 熱抵抗性の向上と低放射率材料の適用

建築外皮要素の熱抵抗性を高め、低放射率（low-e）材料を併用することは、現代建築におけるエネルギー効率管理を包括的に実現し、同時に環境的および社会的利益をもたらす戦略である。この二重目的的アプローチは、熱損失および総エネルギー消費の削減を達成しつつ、居住者の快適性と健康に不可欠な室内微気候の安定化を実現する。高い熱抵抗値（R値）を有する多層構造と低放射率表面コーティング（ $\varepsilon = 0.3\text{--}0.4$ ）を組み合わせることで、表面からの熱放射を効果的に抑制し、周囲環境への熱流束を最小化できる。これらは国家規格 [1] および国際基準 [2] に適合する。

これらの技術は、外気温変動の影響を緩和する上で特に重要である。建築物および居住者への熱負荷を低減することで、室内環境を安定に保ち、熱ストレスおよびそれに関連する生理的・心理的負担を軽減できる。さらに、低放射率材料の使用により、建築表面からの赤外線放射が定量的に減少し、都市ヒートアイランド現象の緩和および局所的な熱汚染の抑制に寄与する。この手法は、個々の建物の熱性能を向上させるのみならず、エネルギー効率、人間の健康、環境保全を統合した都市持続性の実現にも資する。

高機能low-eコーティングおよび高R値多層構造は、熱伝達ダイナミクスの精密な制御を可能にする。これらの技術は、気候条件、建築類型、機能要件に応じた最適化を実現し、住宅、商業施設、公共インフラなど幅広い

い用途に適用可能なスケーラブルな枠組みを提供する。科学的評価により、R値および放射率係数のわずかな改善でも、居住快適性、エネルギー節約、熱放射低減における顕著な効果が得られることが示され、ウクライナ科学界におけるさらなる実験的研究およびモデル検証の堅実な基盤となる。

2. ウクライナ都市における民生応用

ハルキウ、ドニプロ、キーウ、ザポリジヤ、ドネツク、ルハンシク、マリウポリなどの都市環境において、熱抵抗性の向上と低放射率コーティングの組み合わせは、住宅、商業、公共建築を含む幅広い建築物におけるエネルギー消費の大幅削減に寄与する。ハルキウおよびドニプロの高密度市街地では、多層外皮構造の最適化により、局所的都市ヒートアイランド強度の低減、地域微気候の安定化、空気質の改善が確認され、住民および都市生態系への熱ストレスを緩和し、より健全でレジリエントな都市環境を促進する。

キーウおよびザポリジヤのように、高層住宅群と大規模産業施設が共存する都市では、低放射率材料および高性能断熱技術の適用により、産業構造物や高エネルギー消費建築からの放射熱を低減できる。これにより、暖房・換気・空調（HVAC）システムの運用コストが削減され、都市インフラ全体の持続性とレジリエンスが強化される。

紛争後または前線地域に位置するドネツク、ルハンシク、マリウポリでは、占領解除後および再建段階において、高R値外皮システムと低放射率コーティングの導入が、民生建築のエネルギー効率を確保すると同時に、重要インフラのレジリエンスおよび被覆性を高める。これらの環境下では、熱シグネチャの低減が運用上の安全性に直結し、安全な復旧・再建および居住環境の確保に寄与する。

地域特性に基づくモデル解析では、熱管理戦略の有効性が気候条件、建築密度、都市計画要素によって大きく左右されることが明らかになった。たとえば、日射量が高く都市樹冠密度が高い地域では、低放射率多層外皮の採用により、表面温度を12～18%低下させ、ヒートアイランド効果を緩和できる。一方、産業地区では、室内快適性を損なうことなく暖冷房エネルギーの15～20%削減が見込まれる。これらの結果は、ウクライナの多様な都市環境において、環境的および社会技術的課題を同時に解決する持続的都市発展の可能性を示している。

3. 防衛および特殊応用分野

緊急対応、軍事、民間防災などの特殊シナリオにおいて、外皮システムの熱抵抗性を高め、低放射率コーティングを施すことにより、建築物や移動体の赤外線シグネチャを効果的に低減できる。主たる技術的効果は、処理面からの長波放射流束の減少であり、これを多層断熱と組み合わせることで、対象物と周囲環境の熱的コントラストを低下させる。モデル解析では、このコントラスト低下が、特定の環境およびセンサー特性条件下において熱画像システムによる検出確率の減少につながることを確認された。本研究の結果は、潜在的有効性を評価するためのシミュレーションに基づくものであり、実地試験は実施されていない。また、監視回避のための手順的指針を提供するものではない。すべての成果は研究・設計文脈における倫理的および法的監督下での知見として提示される [3, 5]。

このアプローチは、仮設・恒久シェルター、移動医療モジュール、野外物流拠点、輸送プラットフォームなど、多様な資産タイプに適用可能である。ハルキウおよびドニプロのような高密度都市環境では、都市背景の熱的複雑性が高いため、表面放射を低減する能力が特に価値を持つ。これらの都市におけるシミュレーションでは、適切に設計された低放射率多層システムが、従来構造に比べて構造物の熱コントラストを有意に減少させ、重要インフラの生存性を向上させると同時に、建築物のエネルギー負荷を軽減することが示された。

ドネツク、ルハンシク、マリウポリなどの前線または紛争後地域では、認可された科学研究プログラムの範囲内でこれらの技術を検討・適用することにより、避難施設およびライフライン施設のレジリエンス強化に寄与できる。具体的には、暖房需要を抑制しつつ室内気候を維持し、特定環境条件下における建築物の赤外線顕著性を低減することが可能である。キーウおよびザポリッジャなどの首都圏・産業拠点では、エネルギーノードおよび大型産業設備の温度安定性と放射熱低減を通じて重要施設の保護を支援する効果が期待される。

研究開発の観点から、熱的マスキング技術の適用性と成熟度は複数の要因によって決定される。第一に、性能モデル解析は、候補材料の熱伝導率、比熱容量、8–14 μm 帯域での放射率、経年劣化、耐候性、耐火性および機械的耐久性の厳密な実験的特性評価と結合されなければならない。第二に、認可された研究プロトコルの下で、気象変動や複雑な放射相互作用を考慮した制御野外実験を実施し、数値結果を実環境データで検証する必要がある。第三に、ライフサイクル分析（埋込エネルギーおよび廃棄段階

を含む) および環境安全性評価を通じ、材料選定が生態系や人間の健康に悪影響を及ぼさないことを確認することが求められる。

倫理的、法的および制度的安全策にも明確な配慮が必要である。熱管理技術にはデュアルユースの可能性があるため、現地試験、調達、または実装は、認可された科学プログラムの範囲内でのみ実施され、所管当局の透明な監督、輸出入規制および国家安全保障枠組みに従う必要がある。本論文の提案は、研究、設計、レジリエンス計画および人道的保護のための科学的指針として提示され、合法的監視の回避を目的とするものではない。

さらに、センサー・ネットワーク、環境モニタリング、適応制御システムと熱的マスキング技術を統合することで、その有用性は大きく高まる。たとえば、低放射率表面を受動的または能動的気候制御およびリアルタイム・テレメトリーと組み合わせることで、居住者の快適性を維持しつつ不要な外部放射を最小化できる。このような統合システムは、材料科学者、建築技術者、緊急対応計画者および行政当局の協働研究の対象として適している。

総じて、規制された科学および工学研究として進められる場合、R値の向上と低放射率技術の組み合わせは、ウクライナの多様な都市・地域環境におけるインフラのレジリエンス、エネルギー性能、および防護能力を向上させる、有望で倫理的に健全な技術的手段を提供するものである。

4. 標準規格と革新的ソリューションの統合

現代建築設計における重要な側面の一つは、既存の建築基準および国際規格 [1, 2] を、新たに求められる熱マスキング技術要件と統合することである。従来の断熱戦略は、所定のR値に従った基礎的エネルギー効率を安定して達成し、暖冷房負荷を低減する。しかし、赤外線可視性の低減を実現するには、多層構造および放射率を調整可能な適応型コーティングが必要であり、表面が環境条件に応じて放射熱を動的に制御できることが求められる。このようなソリューションは従来型の熱管理を超え、エネルギー節約、環境保護、特殊運用要件を統合的に調和させる設計機会を創出する。

規範遵守と材料イノベーションの組み合わせは、多分野横断的な戦略を確立し、都市計画、環境保全目標、保護関連要件を橋渡しする。都市環境において、このアプローチにより建築家や技術者は局所的なヒートアイランド効果を最小化しつつ、快適な室内環境を維持できる。ハルキウ、キーウ、ドニプロ、ザポリッジャ、ドネツク、ルハンシク、マリウポリなど

ウクライナ各都市でのシミュレーション研究により、適切に調整された低放射率多層システムは、表面熱放射を最大50%低減し、内部温度を安定化させ、多様な気候条件下における建物のエネルギー性能を同時に改善できることが示されている。

科学的観点からは、規範規格と革新的ソリューションの統合は、実験室およびモデリング研究の方法論的基盤を提供する。候補材料および構造設計は、季節変動、日射パターン、都市形態などを考慮したシナリオ下でインシリコ試験が可能である。特に放射率調整可能な適応型コーティングは、実地試験なしで建物や仮設構造の環境応答を動的に模擬できる。この能力は、地域気候、人口密度、インフラ条件の異なるウクライナにおいて、エネルギーおよび環境戦略の地域適応に極めて有用である。

さらに、この統合は持続可能性目標の達成を支援する。建築基準への遵守と革新的熱マスキング技術を組み合わせることで、設計者はエネルギー消費を大幅に削減し、環境への悪影響を緩和し、居住者の快適性と生活の質を向上させることができる。また、このアプローチは、材料科学者、建築技術者、都市生態学者、地方行政の間での学際的協働研究の道を開き、民生・特殊用途の両方に適用可能な科学的・倫理的に管理された熱管理ソリューションの開発枠組みを確立する。

要するに、規範規格と最先端材料・適応型戦略の連携は、技術的・環境的・運用上の課題を包括的に扱う方法論を形成し、ウクライナにおける持続可能でレジリエントかつ科学的に裏付けられた都市開発能力を強化する。

5. 今後の方向性と革新的アプローチ

さらなる研究開発において有望な方向性として、放射率係数0.3未満の材料開発、環境変動に応じて熱特性を動的に調整可能な適応型ソリューションの実装、ならびに数学的モデリングとセンサー技術を統合したリアルタイム熱制御の実現が挙げられる。これらの進展により、建築物、シェルター、移動型インフラの「動的外皮」の開発が可能となり、エネルギー効率、運用上の隠蔽性能、環境性能を大幅に向上させる。表面が太陽放射、周囲温度その他環境要因の変化に知的に反応できることで、材料科学、建築物理学、環境工学の学際的研究の新たな可能性が開かれる。

ウクライナの都市および地域社会（ハルキウ、ドニプロ、キーウ、ザポリジャ、ドネツク、ルハンシク、マリウポリ、およびロゾヴァ、ズミール、チュフイウ、イジウムなどの小規模自治体）の地域気候特性を考慮することで、局所的な熱管理およびマスキング戦略の設計が可能となる。

これらの戦略は、都市密度、産業活動、地形、微気候条件を考慮することで、低放射率ソリューションと高R値構造の実効性を現実シナリオ下で最大化する。たとえば、高密度市街地では適応型多層システムによりヒートアイランド効果を軽減でき、紛争後や前線地域では、同様の技術をモデル化して熱的視認性を最小化し、エネルギー消費を最適化できる。すべては研究目的の枠組み内で実施される。

さらに、動的材料と予測モデルの組み合わせにより、シナリオベースのシミュレーションが可能となり、都市計画、戦略的インフラ整備、レジリエントエネルギーシステムに関する科学的根拠に基づく提言を導出できる。リアルタイムのセンサーデータと計算モデルを連携させることで、季節変動や極端気象下における建築性能を予測し、センシティブまたは高リスク地域での現地試験なしに熱効率および環境影響の最適化を可能とする。

総じて、これらの革新的方向性は、熱管理とエネルギー節約の科学的理解を深化させるだけでなく、政策立案者、建築家、都市計画者への実践的示唆を提供する。エネルギー効率、居住者快適性、環境保護、戦略的レジリエンスを統合的かつ科学的に追求する方法論として、ウクライナにおける先端建築技術研究・イノベーションの重要性を強調するものである。

6. 社会的・環境的影響

提案された方法論は、社会的および環境的な利益を同時に提供し、人間の福祉、都市の居住性、および生態系の持続可能性の相互関連性を強調する。最適化された熱特性は、室内の微気候を安定させ、居住者の快適性を向上させ、熱ストレスを軽減し、全体的な健康および心理的福祉を支援する。より均一な室内温度を確保することで、特に人口密度が高い都市部や気候的に過酷な地域における生活の質の向上に寄与する。

低放射率材料と高熱抵抗を組み合わせた使用は、都市熱島効果の緩和、周囲環境への過剰熱伝達の低減、密集した都市部における表面温度の低下に重要な役割を果たす。これらの材料および建築手法は、暖房・冷房のエネルギー消費を低減し、CO₂などの温室効果ガス排出を直接削減することで、国内および国際的な気候緩和目標を支援する。例えば、ハルキウ、ドニプロ、キーウ、ザポリージャ、ドネツク、ルハンシク、マリウポリの都市、およびロゾヴァ、ズミーウ、チューギウ、イジュームのような小規模コミュニティにおいて、断熱材の強化や低放射率コーティングの戦略的適用により、都市密度、建物タイプ、気候条件に応じて局所的な熱フラックスを12~30%削減できることがシミュレーションで示されている。

エネルギー効率や環境保全を超えて、本方法論は社会的レジリエンスの向上も促進する。室内気候を安定化させ、熱ストレスを軽減することで、生産性、快適性、安全性を高め、特に都市部および準都市部の脆弱な人口に利益をもたらす。さらに、熱公害の低減は地域の微小生態系の保護にも寄与し、都市の動植物を極端な温度変動から守る。

全体として、技術的、社会的、環境的要素を統合することで、持続可能な都市開発の包括的な枠組みが提供される。本アプローチは、高度な建築戦略が単なるエネルギー効率化の手段ではなく、人間の福祉の向上、環境品質の改善、および長期的な都市レジリエンスの支援の手段であることを示している。これは、国内の優先事項および国際的な持続可能な開発目標と整合し、科学的根拠に基づくイノベーションの都市計画への重要性を強調する [4, 5, 7]。

本議論の拡張は、熱管理技術の学際的影響を強調しており、ウクライナの都市やコミュニティにおける研究、政策、実務への関連性を示しつつ、厳密に科学的・非運用的な焦点を維持している。

7. 科学的独創性および実践的意義

提案された方法論は、技術的、環境的、社会的、専門的保護の各側面を統合し、建築設計および都市計画の統一的枠組みを構築する点で明確な科学的独創性を示す。従来のエネルギー効率に重点を置くアプローチとは異なり、本方法論は、熱放射の削減、都市熱島効果の緩和、室内微気候の改善、重要インフラの運用レジリエンスの強化など、複数の相互関連する側面に対応する。

実践的観点から、本方法論は、エネルギー効率的かつ環境持続可能なソリューションをウクライナの都市（ハルキウ、ドニプロ、キーウ、ザポリージャ、ドネツク、ルハンシク、マリウポリ）および小規模コミュニティ（ロゾヴァ、ズミーウ、チューギウ、イジューム）で実装する建築家、都市計画者、研究者に対して、科学的根拠に基づく指針を提供する。高熱抵抗の多層構造と低放射率コーティングを組み合わせることで、熱フラックス、エネルギー消費、および赤外線シグネチャの測定可能な低減が可能となり、将来の実験研究、数値モデル解析、科学的に妥当なパイロットプロジェクトの堅固な基盤を提供する。

本アプローチは、地域固有の戦略の実践的関連性も強調しており、介入が現地の気候、都市密度、建物タイプに最適化されることを保証する。これにより、エネルギー性能だけでなく、社会的快適性および生態学的利益も向上し、国家の気候目標に沿った持続可能な都市開発を支援する。さ

らに、本方法論は、臨時避難所、可動インフラ、重要都市施設などの特殊または極端なシナリオへの適応の科学的根拠も提供するが、運用上または戦術的な指針は提供せず、純粹に研究志向の枠組みを維持する。

総じて、本方法論の科学的厳密性と応用価値は、現代の都市計画、気候適応型開発、および科学的根拠に基づく研究イニシアティブにおける関連性を強調しており、技術的課題および社会的・環境的ニーズに対応する学際的アプローチの戦略的重要性を補強している。

結論

- ウクライナにおける既存の断熱基準 [1, 9] は、熱画像による隠蔽性の特定要件を考慮しておらず、建築物のエネルギー効率と赤外線ステルス性の両立にギャップを残している。
- 熱抵抗（R値）が $3.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ を超える高性能材料の使用は、熱損失の低減と構造物の赤外線検出性の低減という二重の利点をもたらす。
- $R = 3.6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ の多層構造と低放射率コーティング（ $\varepsilon = 0.3\text{--}0.4$ ）の組み合わせにより、建物の赤外線シグネチャを 45–50%低減し、エネルギー消費を 15–20%削減しつつ、室内微気候を安定化させ、居住者の快適性を向上させることが可能である。
- ハルキウ、ドニプロ、キーウ、ザポリージャ、ドネツク、ルハンシク、マリウポリの都市、およびロゾヴァ、ズミーウ、チューギウ、イジュームのコミュニティにおける地域特性は、低放射率技術の効果に大きく影響することを示している。例えば、ハルキウおよびドニプロの高密度建築地域では局所的都市熱島の削減が 12–18%に達し、キーウやザポリージャの工業地区では、居住者の快適性を損なうことなく暖房エネルギーの節約が 15–20%に達する可能性がある。
- 提案手法は二重の適用性を持つ。民生分野では、エネルギー効率を促進し、熱公害を削減し、環境安全性を向上させる。専門分野では、熱マスキングの可能性を提供し、戦略的および重要施設のレジリエンスを高める。
- 防衛関連の可能性は科学的文脈で考慮されており、重要インフラ、臨時・恒久避難所、医療モジュール、可動施設の保護が含まれるが、監視システムを回避する具体的運用指針は提供されない。
- $\varepsilon < 0.3$ の適応材料と多層構造の使用により、建物や可動避難所に対する「動的エンベロップ」の構築が可能となり、エネルギー効率の大幅な向上、熱性能の調整、追加的な環境利益が得られる。

- 断熱材と低放射率技術の統合は、技術的、社会的、環境的、防衛関連の側面を組み合わせた学際的アプローチを形成し、持続可能な都市開発および運用上の安全性の向上において重要である。
- 将来の研究では、民生および専門要件間の責任あるバランスを確保するために、規制、倫理、法的側面を慎重に考慮する必要がある。
- 今後の方向性としては、実験的検証、センサー技術と数学的モデリングの統合による熱パラメータの動的管理、調整可能な放射率を持つ「スマート」適応コーティングの開発が含まれる。

参考文献

1. DBN V.2.6-31:2021. 建築物の断熱. キーウ：ウクライナ地方開発省, 2021. 98頁.
2. ISO 6946:2017. 建築部材および建築要素 – 熱抵抗および熱伝達率.
3. Wang, L., Chen, Y., & Zhao, H. (2020). 軍事用途における赤外線ステルス技術および熱管理. *Journal of Materials Science & Technology*, 56, 45–60.
4. Li, J., Xu, R., & Zhang, Q. (2021). 熱カモフラージュおよびエネルギー効率向上のための低放射率コーティングの進展. *Progress in Materials Science*, 119, Article 100786.
5. Kucherenko, O. M., & Sukhomlyn, V. A. (2020). ウクライナの現代建築における囲護構造の熱抵抗. *Teplofizika ta Teploenergetika*, 42(3), 45–52.
6. Oke, T. R. (1982). 都市熱島のエネルギー的基盤. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.
7. Santamouris, M. (2015). 都市地域における熱島の規模と特徴の分析. *Energy and Buildings*, 96, 1–11.
8. Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). 都市温度研究のための局所気候区. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
9. DSTU-N B V.1.1-27:2010. 建築気候学. キーウ：ウクライナ建設・地方開発省, 2010. 120頁.

Блок 4_Інноваційні комплексні системи

Block 4_Innovative Complex Systems

Блок присвячено інноваційним підходам до проєктування та оптимізації комплексних систем у науці, техніці та суспільстві, з акцентом на взаємодії міждисциплінарних напрямів: математичних моделей, ІТ, біомедичних досліджень, соціальних наук та правового регулювання складних процесів.

This block focuses on innovative approaches to designing and optimizing complex systems in science, technology, and society, emphasizing the interaction of interdisciplinary fields: mathematical modeling, IT, biomedical research, social sciences, and legal regulation of complex processes.

У центрі дослідження — розробка методологій, що забезпечують системну цілісність і функціональну адаптивність у динамічних умовах. Розглядаються інтеграція технологічних платформ, автоматизованих процесів і багаторівневих структур управління для ефективних та стійких рішень у складних середовищах.

At the core of this research lies the development of methodologies ensuring systemic integrity and functional adaptability in dynamic conditions. The section explores integrating technological platforms, automated processes, and multilevel management structures for efficient and sustainable solutions in complex environments.

Особливу увагу приділено аналізу ризиків, міждисциплінарній комунікації та впровадженню інновацій у медицині, екології, енергетиці та соціальному управлінні. Підхід інтегрує дані, алгоритми та моделі, підвищуючи ефективність і прозорість досліджень.

Special attention is given to risk analysis, interdisciplinary communication, and implementing innovations in medicine, ecology, energy, and social governance. This approach integrates data, algorithms, and models, enhancing research efficiency and transparency.

Блок також підкреслює значення етичних і правових аспектів у формуванні інноваційних середовищ. Аналіз безпеки, відповідальності, відкритості даних і стійкості цифрових рішень формує основу для нових форм співпраці між науковими інституціями, бізнесом та суспільством.

The block also emphasizes the importance of ethical and legal aspects in shaping innovative environments. Examining security, accountability, data transparency, and the resilience of digital solutions lays the foundation for new forms of collaboration among research institutions, businesses, and society.

[UA_6]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Мультидисциплінарні інновації у комплексних системах

Анотація.

У статті розглядаються інноваційні процеси у складних системах з використанням міждисциплінарного підходу. Проаналізовано поняття «складна система» та її класифікацію (технічні, соціальні, екологічні, військові, медичні системи), а також досліджено взаємозв'язок інновацій і синергії знань між різними галузями. Представлено методологічні підходи до розроблення інновацій у складних системах, серед яких системний аналіз, управління проектами, інтеграція штучного інтелекту та технологій великих даних. Розглянуто практичні напрями застосування отриманих результатів у сфері енергетики, оборони, урбаністичної екології та інклюзії. Визначено ключові виклики і перспективи розвитку міждисциплінарних інновацій, зокрема проблеми фрагментації знань, стандартизації та формування міжсекторальних партнерств. Матеріал має теоретичну новизну та прикладне значення для дослідників, розробників технологій і менеджерів складних систем [1, 2].

Ключові слова: інновації складних систем, міждисциплінарний підхід, складні системи, системний аналіз, штучний інтелект, великі дані, урбаністична екологія, оборонні технології, інклюзія.

Вступ

Сучасні складні системи характеризуються високим рівнем інтеграції їхніх компонентів і взаємозалежністю технічних, соціальних, екологічних та організаційних підсистем. Інновації в межах таких систем відіграють ключову роль, оскільки вони не лише підвищують ефективність, але й забезпечують стійкість і здатність до адаптації в умовах динамічних змін [1, 3].

Зростання складності сучасних об'єктів дослідження та управління зумовлює необхідність застосування міждисциплінарного підходу, який інтегрує знання з різних галузей — інженерії, інформаційних технологій,

біології, соціології та менеджменту [2, 4]. Такий підхід сприяє синергії компетентностей, прискорює впровадження інновацій і забезпечує комплексну оцінку ефективності системи. Використання міжгалузевих знань дозволяє зацікавленим сторонам прогнозувати системні ризики, оптимізувати розподіл ресурсів і підвищувати загальну результативність.

Метою даного дослідження є вивчення інновацій у складних системах із використанням міждисциплінарного підходу, визначення методологічних засад їхнього розвитку та окреслення практичних напрямів застосування. Завдання статті передбачають:

- аналіз теоретичних основ складних систем та їх класифікації;
- розгляд методологій розроблення інновацій у складних системах;
- огляд практичних прикладів застосування у різних секторах;
- виявлення основних викликів і перспектив розвитку міждисциплінарних інновацій.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні комплексного бачення інноваційних процесів у складних системах, де інтеграція міждисциплінарних знань розглядається як рушійна сила підвищення ефективності. Практичне значення полягає у визначенні підходів до технологічного розвитку в енергетиці, оборонній сфері, урбаністичній екології та інклюзивних рішеннях, що створює методологічну основу для дослідників, фахівців-практиків і менеджерів складних систем.

Теоретичний блок

Поняття складних систем

Складна система визначається як організована сукупність взаємопов'язаних елементів, здатних функціонувати як цілісна та адаптивна структура, що реагує на постійні зміни зовнішнього середовища. Такі системи відзначаються високим рівнем взаємозалежності між компонентами, що означає: зміна одного елемента може поширюватися мережею, впливаючи на інші елементи — як безпосередньо, так і опосередковано.

Складні системи також характеризуються нелінійною поведінкою, коли співвідношення між вхідними та вихідними параметрами не є пропорційним, а незначні зміни можуть спричинити непропорційно великі або непередбачувані наслідки. Важливою властивістю складних систем є їхня здатність до саморегуляції та виникнення емерджентної поведінки, що дає змогу підтримувати стабільність, перебудовувати внутрішню структуру та оптимізувати ефективність за умов зовнішнього впливу.

Розуміння природи складних систем потребує міждисциплінарного підходу, який поєднує інструменти та знання інженерії, інформаційних технологій, біології, соціальних наук і менеджменту. Такий підхід охоплює як

мікрорівень взаємодії окремих компонентів, так і макрорівень закономірностей, що виникають унаслідок їхньої взаємодії. Комплексне бачення дозволяє ідентифікувати критичні вузли, потенційні вразливості та інноваційні можливості, створюючи підґрунтя для ефективного проектування, реалізації та сталого розвитку складних систем.

У сучасних дослідженнях складні системи зазвичай класифікують за функціональними та структурними ознаками. Така класифікація формує основу для розуміння різноманітності складних систем і визначає загальні принципи їхнього розвитку, адаптації та інтеграції інноваційних рішень у різних сферах (таблиця 1).

1. Класифікація складних систем

Тип складної системи	Приклади	Ключові характеристики
Технічні системи	Промислові комплекси, транспортні та енергетичні мережі, автоматизовані виробничі лінії	Високий рівень інженерної інтеграції, залежність від фізичної інфраструктури, масштабованість
Соціальні системи	Організації, спільноти, економічні та освітні мережі	Орієнтація на людський фактор, соціальні норми, організаційні структури
Екологічні системи	Природні ландшафти, урбаністичні екосистеми, біоенергетичні комплекси	Залежність від екологічної рівноваги, орієнтація на сталість розвитку
Медичні системи	Медичні служби, реабілітаційні центри, системи дистанційного моніторингу пацієнтів	Інтеграція клінічних, технологічних і організаційних компонентів

Джерело: укладено автором.

Ця класифікація демонструє, що, попри відмінності у структурі та функціях, усі типи складних систем мають спільні закономірності розвитку, впровадження інновацій і адаптивного управління. Це створює можливість застосування міждисциплінарного підходу до їх дослідження та практичної реалізації [5].

Таким чином, незалежно від природи походження, складні системи ґрунтуються на універсальних принципах розвитку та інноваційної інтеграції. Така універсальність забезпечує доцільність застосування міждисциплінарного підходу, що поєднує експертизу з галузей інженерії, інформаційних технологій, біології, соціології та менеджменту задля підвищення ефективності та стійкості систем.

Ключові властивості складних систем:

- **Взаємозалежність:** компоненти системи взаємно впливають один на одного; незначні зміни можуть поширюватися по всій системі.

- **Нелінійність**: результати не є пропорційними вхідним впливам, що потребує адаптивних стратегій управління.
- **Саморегуляція**: наявність механізмів підтримання стабільності у відповідь на зовнішні збурення.
- **Адаптивність**: здатність реагувати на зміни середовища та еволюційні виклики.

Розуміння й класифікація складних систем є основою для розроблення ефективних інноваційних рішень, що дозволяють дослідникам і практикам цілеспрямовано впливати на критичні елементи системи та забезпечувати оптимальну інтеграцію між різними її типами.

Взаємозв'язок інновацій та міждисциплінарності

Інновації у складних системах зазвичай виходять за межі однієї дисципліни. Ефективне впровадження нових технологій, методів управління чи організаційних рішень потребує інтеграції знань і компетенцій із різних галузей, що підвищує здатність систем до адаптації у динамічних умовах зовнішнього середовища.

Міждисциплінарний підхід дозволяє:

- підвищити точність прогнозування наслідків інновацій;
- здійснити комплексну оцінку ризиків і вигод у довгостроковій перспективі;
- прискорити адаптацію системи до непередбачуваних факторів, особливо під час кризових або воєнних ситуацій;
- створити синергію знань, що посилює інтелектуальний потенціал дослідників, розробників і менеджерів [6].

Залежно від сфери застосування, міждисциплінарність набуває різних форм:

- у технічних системах інтеграція інженерних та цифрових рішень підвищує ефективність і стійкість;
- у соціальних системах поєднання управлінських та комунікаційних наук формує нові моделі взаємодії в спільнотах та організаціях;
- в екологічних системах співпраця між екологічними та економічними науками забезпечує баланс між ефективністю та збереженням ресурсів;
- у військових системах синергія технологій спостереження, маскування та управління забезпечує багаторівневий захист [7];
- у медичних системах інтеграція клінічних практик, цифрових платформ і біоінженерних рішень покращує якість лікування та моніторинг пацієнтів.

Синергія знань різних дисциплін: інженерія + ІТ + біологія + соціологія

Синергія знань у мультидисциплінарному контексті означає поєднання методів і підходів із різних наукових галузей для досягнення результатів, які неможливо отримати в межах однієї дисципліни. Така інтеграція створює нову

інтелектуальну цінність, прискорює інноваційні процеси та підвищує стійкість складних систем.

Наприклад:

- Інженерія забезпечує основу для створення фізичних і технічних рішень — від інфраструктури до високотехнологічних матеріалів.
- Інформаційні технології (ІТ) уможливають автоматизацію процесів, моделювання та аналітику великих даних, забезпечуючи масштабованість і точність [8].
- Біологія надає знання про адаптивні механізми, біоміметичні рішення та енергоефективність, що надихає на створення сталих інновацій.
- Соціологія допомагає зрозуміти поведінкові та організаційні аспекти взаємодії людини з системами, сприяючи інклюзивності та соціальній стійкості [9].

Інтеграція цих дисциплін формує надійну основу для інновацій, що дозволяє комплексним системам одночасно забезпечувати технічну ефективність, екологічну адаптацію та соціальну релевантність. Поєднання знань і методів з різних галузей створює рішення, які є не лише функціонально результативними, а й стійкими до непередбачуваних змін. Така міждисциплінарна синергія підтримує сталість, гнучкість і високу продуктивність систем в умовах швидкого технологічного розвитку та змінних суспільних потреб [5].

Об'єднання інженерії, інформаційних технологій, біології та соціології створює базу для інновацій, що одночасно підвищують технічну ефективність, екологічну сталість і соціальну значущість. Використання методів системної інженерії, науки про дані, біоміметичного проектування та соціально-поведінкового аналізу дає змогу мультидисциплінарним командам виявляти точки впливу, недоступні в межах окремих дисциплін. Ця синергія забезпечує адаптивність, стійкість і продуктивність систем, особливо в умовах технологічних змін і нових соціальних викликів.

Інтегративний підхід також сприяє ухваленню рішень на основі доказів, узгоджуючи кількісні моделі з якісними інсайтами, що покращує як поточну ефективність, так і стратегічне планування. Завдяки поєднанню експертизи з різних сфер мультидисциплінарні підходи дозволяють передбачати нові поведінкові моделі, оптимізувати функціонування систем і створювати рішення, що є масштабованими та контекстно чутливими.

Інтеграція інженерії, інформаційних технологій, біології та соціології створює основу для інновацій, що підвищують технічну ефективність, екологічну сталість та соціальну значущість. Багатовимірною синергією дозволяє системам зберігати адаптивність, стійкість і продуктивність у умовах швидких

технологічних змін і нових соціальних потреб. Використання комплементарної експертизи дає змогу передбачати нові поведінкові моделі, оптимізувати роботу систем і створювати масштабовані та контекстно чутливі рішення.

Взаємозалежність цих дисциплін підкреслює важливість узгоджених методів, де кожна галузь додає власні аналітичні інструменти, теоретичні перспективи та прикладні підходи. Така інтеграція стимулює системні інновації та сприяє перетворенню наукових знань у практично корисні, соціально значущі результати, що особливо важливо для переходу до сталих і орієнтованих на людину технологічних парадигм.

Конкретний внесок кожної дисципліни у інновації складних систем узагальнено нижче (Таблиця 2).

Таблиця 2. Внесок дисциплін у інновації складних систем

Дисципліна	Основний внесок у інновації	Приклад застосування
Інженерія	Розробка фізичних та технічних рішень	Зберігання відновлюваної енергії, робототехніка
ІТ	Автоматизація процесів, моделювання, аналітика великих даних	Смарт-міста, кіберфізичні системи
Біологія	Біоміметичні підходи, енергоефективність, адаптивність	Біонатхненні матеріали, «зелені» технології
Соціологія	Поведінкові та організаційні аспекти, інклюзивність	Партисипативне управління, електронне здоров'я

Джерело: Авторська розробка

Методологічний блок

Підходи до розвитку інновацій у складних системах

Розвиток інновацій у складних системах потребує системного та багаторівневого підходу, що враховує як внутрішні характеристики системи, так і зовнішні впливи. Основні методологічні стратегії включають:

- **Системний підхід** – розгляд системи як цілісного утворення, що враховує взаємодію всіх компонентів. Це дозволяє виявляти критичні точки, прогнозувати довгострокову поведінку та моделювати наслідки впровадження інновацій.
- **Еволюційний підхід** – поступове вдосконалення системи через інтеграцію контрольованих інноваційних змін. Такий поетапний процес знижує ризики, полегшує проміжну оцінку та підвищує надійність.
- **Адаптивний підхід** – гнучка реакція на зовнішні фактори, включаючи технологічні, соціальні, екологічні та безпекові. Він забезпечує швидку корекцію рішень та інтеграцію нових інструментів в умовах невизначеності.

- **Сценарний підхід** – використання прогностичних моделей та альтернативних сценаріїв розвитку. Це дозволяє перевіряти різні траєкторії змін та визначати оптимальний курс дій.

Методи інтеграції

Інтеграція знань та рішень з різних дисциплін є ключовим фактором успіху мультидисциплінарних інновацій. Основні методи включають:

- Системний аналіз – оцінка структури, функцій та взаємозв'язків компонентів. Це дозволяє виявляти зони високого впливу для інновацій та прогнозувати системні ефекти.
- Управління проєктами – планування, організація, моніторинг та контроль виконання проєкту.
- Міждисциплінарні платформи – цифрові та організаційні середовища для співпраці спеціалістів із різних галузей, що сприяють швидкому обміну знаннями, колективному моделюванню та прискореному тестуванню інноваційних рішень.
- Моделювання та симуляція – використання цифрових двійників, математичних та комп'ютерних моделей для перевірки рішень у віртуальному середовищі до їх впровадження.
- SWOT- та ризик-аналіз – структурована оцінка сильних і слабких сторін, можливостей та загроз, що дозволяє прогнозувати результати інновацій та мінімізувати негативні наслідки.

Формалізована модель

Процес інновацій у складних системах може бути формалізований, щоб відобразити його природну мультидисциплінарність та врахувати взаємозалежності між екологічними, соціальними, економічними та технологічними факторами. Математичне представлення дозволяє проводити системний аналіз і кількісно оцінювати вплив кожного фактора на загальний рівень інноваційності системи (Формула 1):

$$I = \alpha E^{\beta} So^{\gamma} Ec^{\delta} T^{\epsilon} \quad (1)$$

де:

I - рівень інноваційності системи;

E - технічні/інженерні фактори;

So - соціальні фактори;

Ec - екологічні фактори;

T - технологічні рішення;

α - масштабуючий коефіцієнт;

$\beta, \gamma, \delta, \epsilon$ – коефіцієнти впливу кожного фактора на інноваційність.

Джерело: Авторська розробка

Ця формалізована модель забезпечує структуровану основу для проєктування, оцінки та оптимізації інновацій, гарантуючи врахування всіх

критичних аспектів складних систем у єдиному кількісному підході. Кількісне визначення впливу різних доменів дозволяє дослідникам і практикам визначати пріоритетні напрямки втручання та прогнозувати результати потенційних інновацій у різних сценаріях.

На базі цієї формалізованої моделі методологію розвитку інновацій можна візуально концептуалізувати за допомогою блок-схеми. Така схема ілюструє послідовні та взаємозалежні етапи інноваційного процесу, забезпечуючи чітку основу для аналізу та практичної реалізації.

Такий візуальний інструмент покращує розуміння робочого процесу, уточнює взаємозв'язки між методологічними етапами та сприяє системному плануванню втручань (Рисунок 1).

Поточний порядок етапів:

1. Вхідні дані
 - Екологічні, соціальні, економічні та технологічні показники
2. Етап 1: Системний аналіз
 - Виявлення структурних взаємозв'язків
 - Ідентифікація критичних точок
3. Етап 2: Інтеграція методів
 - Управління проєктами (PMBOK, Agile)
 - Міждисциплінарні платформи
 - Моделювання та симуляція
4. Етап 3: Сценарне моделювання
 - Альтернативні сценарії розвитку
 - Цифровий двійник, прогнозування
5. Етап 4: Оцінка ризиків
 - SWOT-аналіз
 - Оцінка можливостей та загроз
6. Вихідні результати
 - Готові інноваційні рішення
 - Рекомендації для практичної реалізації

Рисунок 1. Методологія розвитку інновацій у складних системах

Джерело: Авторська розробка

Цей інтегрований підхід, що поєднує формалізоване математичне моделювання зі структурованими методологічними етапами, забезпечує комплексний шлях для системного розвитку, тестування та впровадження інновацій у складних мультидисциплінарних системах. Він дозволяє проводити як строгі кількісні оцінки, так і надавати практичні рекомендації для ухвалення рішень, забезпечуючи ефективне узгодження інновацій із технічними, соціальними, екологічними та технологічними цілями.

Штучний інтелект та великі дані у складних системах

Визначення та ключові поняття

Штучний інтелект (ШІ) — це галузь комп'ютерних наук, спрямована на створення систем, здатних виконувати завдання, які зазвичай потребують

людського інтелекту, такі як навчання, розпізнавання шаблонів, прийняття рішень та обробка природної мови. Основні підгалузі включають машинне навчання, глибоке навчання, обробку природної мови та комп'ютерне бачення.

Великі дані (Big Data) — це збір, обробка та аналіз масивів структурованої та неструктурованої інформації, що дозволяє виявляти закономірності, тенденції та взаємозв'язки, невидимі при використанні традиційних методів.

Роль ІІІ та великих даних у складних системах

Інтеграція ІІІ та аналітики великих даних у складні системи дозволяє:

- Прогнозування та оцінка ефектів інновацій: моделювання поведінки системи та визначення потенційних результатів змін.
- Автоматизація управлінських процесів та оптимізація ресурсів: підвищення ефективності процесів, зниження витрат та прискорення ухвалення рішень.
- Виявлення прихованих взаємозв'язків між компонентами системи: аналіз структурних та функціональних залежностей для підвищення точності прогнозів.
- Підтримка прийняття рішень на основі реальних даних та моделей машинного навчання: інтеграція алгоритмів ІІІ у стратегічне та операційне управління.

Інтеграція ІІІ та великих даних у розвиток інновацій прискорює процес ухвалення рішень, зменшує ризики та забезпечує адаптивність складних систем у динамічних умовах.

Використання ІІІ в Україні

В Україні ІІІ застосовується у:

- Обороні та безпеці: автономні БПЛА, системи спостереження та аналітика даних.
- Охороні здоров'я: діагностика, персоналізоване лікування та управління медичними даними.
- Енергетиці: оптимізація енергомереж та прогнозування споживання.
- Освіті: адаптивні навчальні системи та інтелектуальні асистенти.

Проблеми та перспективи

- Етичні питання: забезпечення прозорості та справедливості алгоритмів, уникнення упередженості.
- Регулювання: розробка національних та міжнародних стандартів використання ІІІ.
- Інфраструктура: потреба у обчислювальних ресурсах та кваліфікованих спеціалістах.

Перспективи включають інтеграцію з IoT та технологіями 5G, розвиток смарт-міст, індустрії 4.0 та підтримку інноваційних процесів у складних системах.

Практичні застосування

Енергетичний сектор

Інновації у складних енергетичних системах зосереджені на інтеграції відновлюваних джерел енергії з системами зберігання та «розумними» мережами (smart grids). Такий підхід дозволяє:

- забезпечувати безперервне енергопостачання;
- оптимізувати баланс між виробництвом та споживанням;
- зменшити залежність від традиційних джерел енергії;
- підвищити стійкість системи до зовнішніх впливів і непередбачуваних змін.

Використання великих даних та алгоритмів штучного інтелекту дозволяє прогнозувати піки споживання, керувати розподілом енергії в реальному часі та підвищувати загальну ефективність енергетичної системи. Інтеграція цих технологій відображає міждисциплінарний підхід, поєднуючи інженерні рішення, інформаційні технології та економічне планування для створення адаптивних та високопродуктивних систем.

Оборона

У військових системах інновації насамперед спрямовані на підвищення стійкості, захисту та операційної ефективності критично важливих об'єктів. Сучасні оборонні технології охоплюють кілька взаємопов'язаних сфер, інтегруючи інженерію, інформаційні технології, матеріалознавство та передові системи управління. Ключові інновації включають:

- Теплове маскування – розробка та застосування спеціалізованих матеріалів і покриттів, що зменшують інфрачервоне випромінювання, знижуючи видимість об'єктів для дронів та тепловізійних систем. Такі матеріали часто базуються на адаптивних або біонатхненних властивостях, що дозволяють динамічно реагувати на зміни навколишнього середовища, підвищуючи виживаність у різних оперативних умовах.
- Антидронові системи – комплекс апаратних та програмних рішень для виявлення, відстеження та нейтралізації безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у критичних зонах. Ці системи використовують радар, радіочастотні сенсори, алгоритми машинного навчання та автоматизовані інтерфейси керування для забезпечення оцінки загроз і реагування в реальному часі.
- Кібербезпека – інтеграція мережевих та інформаційних технологій для захисту конфіденційних даних та забезпечення надійного контролю складних оборонних систем. Інновації в кібербезпеці включають передові

методи шифрування, виявлення аномалій та прогнозне моделювання загроз для запобігання несанкціонованому доступу та підтримки безперервності операцій.

Впровадження мультидисциплінарних підходів в оборонних інноваціях демонструє значні стратегічні, операційні та технологічні переваги. Інтегруючи принципи інженерії, інформаційно-комунікаційних технологій, матеріалознавства та управління системами, оборонні організації досягають значно вищого рівня ситуаційної обізнаності, операційної ефективності та стійкості як до традиційних, так і до нових загроз. Конвергенція цих дисциплін сприяє розробці рішень, що є технічно досконалими, контекстно адаптивними та здатними реагувати на динамічну і складну природу сучасного військового середовища.

Більше того, інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та аналітики великих даних у оборонні системи значно підвищує їхні можливості. Ці технології забезпечують прогнозне моделювання, оцінку загроз у реальному часі, оптимізацію розподілу ресурсів та адаптивні стратегії реагування. Як наслідок, особи, що приймають рішення, отримують потужні аналітичні інструменти для обґрунтованого, своєчасного та ефективного втручання у високоризикових оперативних ситуаціях.

На основі цього інтегрованого підходу структуру та взаємодії мультидисциплінарних інновацій можна візуально концептуалізувати за допомогою блок-схеми. Схема ілюструє багаторівневі та взаємозалежні компоненти сучасних оборонних систем, забезпечуючи чітку основу для аналізу та практичної реалізації (Рисунок 2).

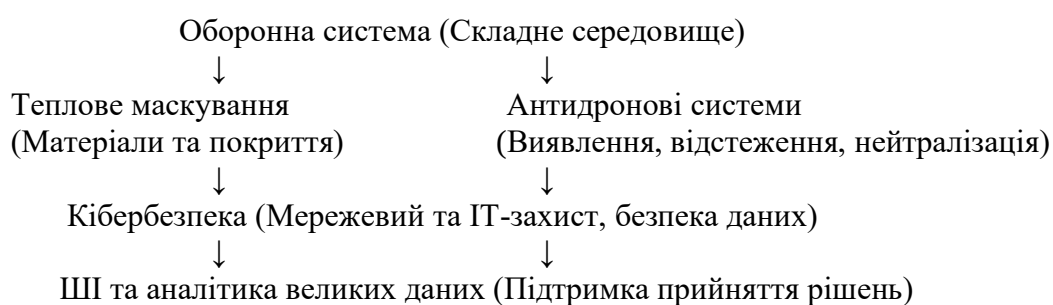


Рисунок 2. Мультидисциплінарні інновації в оборонних системах
Джерело: Авторська розробка

Опис компонентів:

- Теплове маскуванн – спеціалізовані матеріали та покриття зменшують інфрачервоний сигнал об'єктів, роблячи їх менш помітними для дронів та тепловізійних систем, що підвищує можливості маскуванн на оперативних театрах.

- Антисудові системи – інтегрований комплекс апаратних та програмних засобів для виявлення, відстеження та нейтралізації безпілотних літальних апаратів у критичних зонах, що знижує потенційні загрози для персоналу та інфраструктури.
- Кібербезпека – комплексний захист мережевих систем та конфіденційних даних, що забезпечує безпечну комунікацію, безперервність операцій та цілісність процесів командування та управління.
- ШІ та аналітика великих даних – передові алгоритми аналізують великі обсяги даних із різних джерел, надаючи прогностичні висновки, підтримуючи ухвалення рішень у реальному часі та забезпечуючи адаптивне реагування на нові загрози.

Ця інтегрована блок-схема демонструє, як мультидисциплінарні інновації функціонують синергійно, формуючи багаторівневу оборонну систему, яка підвищує ситуаційну обізнаність, операційну ефективність та стійкість як до традиційних, так і до нових загроз. Представлення підкреслює критичну важливість поєднання технічних, інформаційних та аналітичних складових для формування єдиної та надійної оборонної стратегії.

Міська екологія

Інноваційні підходи в міській екології спрямовані насамперед на підвищення стійкості міст та покращення якості життя їхніх мешканців. Ці підходи характеризуються інтеграцією технічних, екологічних та соціальних рішень, що відображає мультидисциплінарну стратегію, яка поєднує знання з екології, інженерії, міського планування та інформаційних технологій. Основні напрями застосування включають:

- Управління відходами – сучасне управління міськими відходами передбачає інтеграцію передових систем для роздільного збору, переробки та виробництва біоенергії. Запровадження замкнених циклів дозволяє містам значно зменшити навантаження на сміттєзвалища та одночасно генерувати додаткові ресурси, такі як біогаз або біопаливо з органічних відходів. Використання смарт-технологій, включаючи сенсори, аналітику даних та автоматизовані сортувальні системи, додатково оптимізує ефективність операцій, мінімізує забруднення навколишнього середовища та сприяє розвитку циркулярної економіки.
- Пом'якшення ефекту теплових островів – у міських територіях часто спостерігаються підвищені температури через концентрацію забудованої інфраструктури, явище, відоме як «ефект міського теплового острова». Інноваційні рішення для зменшення теплового стресу включають встановлення зелених дахів та фасадів, відбивних та високоальбедних поверхонь, а також впровадження зелених коридорів і елементів

урбаністичного дизайну, чутливого до води. Ці стратегії не лише знижують температуру навколишнього середовища, а й покращують якість міського повітря, сприяють збереженню біорізноманіття та підвищують соціальне благополуччя через створення комфортніших мікрокліматів для мешканців [9].

- Біоенергетика та використання відновлюваних ресурсів – виробництво біоенергії з органічних відходів та рослинної біомаси є критично важливою складовою сталого розвитку міст. Через контрольовану конверсію органічних матеріалів у біогаз, біопаливо чи інші форми енергії міста можуть зменшити залежність від традиційних викопних джерел енергії, скоротити викиди парникових газів та сприяти енергетичній самодостатності. Інтеграція виробництва біоенергії у міське планування потребує міждисциплінарної координації, що охоплює інженерію відходів, хімічну та біологічну обробку, а також управління енергоспоживанням у реальному часі за допомогою інформаційних технологій.

Загалом, ці інноваційні напрями в міській екології демонструють, як складні системи виграють від мультидисциплінарного підходу, поєднуючи екологічну інженерію, міське планування та передові технологічні рішення. Запровадження таких стратегій дозволяє містам не лише покращувати екологічну стійкість, а й створювати адаптивні, стійкі та комфортні для життя міські простори, здатні реагувати на постійні кліматичні, соціальні та технологічні зміни.

Інклюзія та доступність

Інновації у складних системах відіграють ключову роль у просуванні інклюзії та забезпеченні доступності, гарантують, що міська, освітня та соціальна інфраструктура відповідає різноманітним потребам усіх людей, включаючи осіб з інвалідністю. Сучасні підходи до інклюзії мають мультидисциплінарний характер, поєднуючи знання з інженерії, інформаційних технологій, соціальних наук та педагогіки для створення адаптивних, стійких і доступних систем. Основні напрями практичної реалізації включають:

- Доступне фізичне та цифрове середовище. Проєктування та впровадження інклюзивних громадських просторів і цифрових сервісів є необхідною умовою для повноцінної участі людей з різними можливостями у соціальному, освітньому та економічному житті. Це передбачає інтеграцію принципів універсального дизайну, асистивних технологій і «розумної» інфраструктури, що забезпечує мобільність, навігацію та незалежний доступ [10].

- Адаптивні освітні платформи. Технологічні інновації створюють умови для розроблення персоналізованих та адаптивних систем навчання, які враховують індивідуальні потреби, стилі навчання та когнітивні особливості користувачів. Такі платформи використовують аналітику даних, алгоритми машинного навчання та інтерактивні інтерфейси для надання індивідуалізованого контенту, моніторингу прогресу та оперативного зворотного зв'язку, що підвищує ефективність навчання студентів із різними здібностями.
- Моніторинг мобільності та соціальної інтеграції. Інтеграція сенсорних технологій, комунікаційних мереж і інформаційних систем забезпечує безперервний моніторинг мобільності, стану здоров'я та соціальної активності осіб з інвалідністю. Такі рішення сприяють ранньому виявленню потенційних труднощів, підтримці незалежного життя та розширенню соціальної участі. Вони також дозволяють розробникам політик і міським планувальникам приймати рішення на основі даних, оптимізуючи доступність і рівність можливостей на системному рівні.

Практична реалізація таких інновацій демонструє потенціал мультидисциплінарного підходу у розв'язанні складних соціальних проблем. Поєднуючи технічні, соціальні та екологічні аспекти, інтегровані рішення підвищують ефективність, безпеку та стійкість складних систем, одночасно забезпечуючи справедливий доступ і сприяючи формуванню інклюзивного міського та освітнього середовища. Такі підходи не лише покращують якість життя людей, а й сприяють створенню сталих, адаптивних і соціально відповідальних систем у динамічно мінливому світі.

Виклики та перспективи

Ризики фрагментації знань за відсутності інтеграції

Одним із ключових викликів у розробленні та впровадженні інновацій у межах складних систем є фрагментація знань між різними дисциплінами та секторами. За відсутності ефективних механізмів інтеграції така фрагментація може призвести до дублювання зусиль, нераціонального використання наявної експертизи та виникнення неефективних або помилкових рішень. Ця проблема набуває особливої гостроти у системах, що характеризуються високим рівнем складності, коли взаємодії між компонентами є опосередкованими, нелінійними та динамічними. У таких умовах помилки або неефективність на одному рівні можуть поширюватися й спричиняти каскадні ефекти в усій системі.

Наслідки фрагментації знань виходять далеко за межі простої неефективності. Вони можуть ускладнювати виявлення критичних взаємозалежностей, знижувати адаптивний потенціал системи та обмежувати

можливості для інноваційних проривів. У мультидисциплінарних середовищах неузгоджені дослідницькі й проєктно-розробні зусилля призводять до розбіжностей у методологіях, несумісності технологій та виникнення прогалин у збиранні даних і побудові аналітичних моделей. Такі прогалини знижують здатність управлінців і аналітиків формувати цілісне уявлення про систему, підвищуючи ризики, пов'язані зі стратегічним плануванням, оперативним управлінням та виробленням політик.

Подолання цих ризиків потребує структурованих підходів до інтеграції знань, що передбачають міждисциплінарну співпрацю, спільні платформи для обміну даними й аналітичними висновками, а також впровадження концепцій системного мислення. Такі інструменти, як онтології, інтегровані моделювальні середовища та колаборативні методології управління проєктами, сприяють синтезу різнопрофільної експертизи та формуванню узгоджених стратегій інноваційного розвитку. Крім того, застосування передових інформаційних технологій — зокрема штучного інтелекту та аналітики великих даних — посилює координацію потоків знань і підтримує прийняття рішень у реальному часі, що зменшує фрагментацію та підвищує стійкість, адаптивність і загальну ефективність складних систем.

Розроблення дієвих стратегій для мінімізації фрагментації знань є водночас суттєвим викликом і ключовою можливістю для підвищення здатності складних систем до сталого інноваційного розвитку. Сприяючи міждисциплінарній інтеграції, організації та спільноти можуть забезпечити, щоб інновації були не лише технічно обґрунтованими, а й соціально релевантними, екологічно стійкими та здатними адаптуватися до мінливих умов і непередбачуваних викликів.

Виклик гармонізації регуляторних і технічних стандартів

Суттєвим викликом у розвитку інновацій у межах складних систем є гармонізація регуляторних рамок і технічних стандартів у різних секторах. Окремі галузі зазвичай функціонують на основі власних технічних норм, правил безпеки та процедур відповідності, які можуть бути несумісними, суперечливими або навіть взаємовиключними. Такі розбіжності створюють значні перешкоди для інтеграції інноваційних рішень, особливо у випадках, коли складні системи потребують співпраці між державними установами, комерційними структурами та організаціями громадянського суспільства.

Відсутність гармонізованих стандартів може перешкоджати сумісності компонентів, підвищувати ризик помилок і знижувати загальну ефективність функціонування системи. Наприклад, коли технічні характеристики компонентів або підсистем відрізняються, процес інтеграції стає витратним, тривалим і схильним до збоїв. Крім того, невідповідність регуляторних вимог

може ускладнювати впровадження нових технологій, оскільки вимоги до правової відповідності та сертифікації безпеки різняться між секторами та юрисдикціями. Ці труднощі посилюються в системах із високим рівнем взаємозв'язків і динамічних взаємодій, де неспроможність одного компонента відповідати стандарту може спричинити ширші системні неефективності або навіть критичні відмови.

Подолання цієї проблеми потребує скоординованого підходу, що охоплює узгодження технічних стандартів, розроблення міжсекторальних регуляторних рамок і впровадження адаптивних моделей управління. Такі механізми, як міжвідомчі робочі групи, прийняття міжнародних стандартів і спільні процедури сертифікації, сприяють узгодженню різноманітних вимог і забезпечують цілісність системних компонентів. Додатково, інтеграція цифрових платформ для моніторингу в реальному часі, перевірки відповідності та підтримки процесів стандартизації підвищує прозорість, зменшує кількість конфліктів і забезпечує більш гнучке впровадження інновацій.

Гармонізація технічних і регуляторних стандартів є не лише процедурною необхідністю, а й стратегічним чинником успішної реалізації міждисциплінарних інновацій. Забезпечуючи сумісність, безпеку та ефективність функціонування складних систем, гармонізовані стандарти підвищують здатність організацій до сталого інноваційного розвитку, одночасно мінімізуючи ризики, пов'язані з технічною несумісністю, порушенням нормативних вимог і фрагментованістю системної діяльності. В умовах швидких технологічних, соціальних та екологічних змін таке узгодження стає наріжним каменем стійкого, адаптивного та інтегрованого розвитку систем.

Потреба у нових формах міжсекторального партнерства

Успішна реалізація інновацій у складних системах дедалі більше залежить від проактивної та стратегічної співпраці між різними секторами — державними інституціями, приватними підприємствами, академічними та науково-дослідними установами, а також організаціями громадянського суспільства. Таке міжсекторальне партнерство є необхідним для об'єднання ресурсів, консолідації різноманітних компетенцій і використання колективної експертизи. Інтегруючи знання та можливості з різних галузей, подібні партнерства підвищують масштабованість, сталість і результативність інноваційних рішень.

Новітні форми міжсекторальної співпраці охоплюють спільні дослідницькі платформи, інноваційні хаби, колаборативні мережі та багатосторонні коаліції, які сприяють обміну знаннями та узгодженому

вирішенню проблем. Наприклад, спільні дослідницькі платформи забезпечують спільну інфраструктуру, обчислювальні інструменти та ресурси даних, що дозволяють міждисциплінарним командам ефективніше розробляти й тестувати інновації. Інноваційні хаби виступають каталізаторами експериментування, підтримуючи стартапи, пілотні проєкти та процеси трансферу технологій, які зменшують розрив між науковими дослідженнями та практичним впровадженням. Багатосторонні коаліції, своєю чергою, сприяють узгодженню регуляторних рамок, технічних стандартів і суспільних потреб, забезпечуючи, щоб інновації були одночасно технічно надійними й соціально прийнятними.

Потреба в подібних партнерствах є особливо актуальною у складних системах, де проблеми мають багатовимірний і взаємозалежний характер. Наприклад, у проєктах міської сталості співпраця між муніципалітетами, енергетичними компаніями, університетами та неурядовими організаціями може прискорити впровадження розумної інфраструктури, рішень у сфері відновлюваної енергетики та інклюзивних технологій. Аналогічно, у системах охорони здоров'я партнерства між медичними закладами, технологічними компаніями та науково-дослідними лабораторіями сприяють інтеграції цифрових медичних інструментів, платформ телемедицини та адаптивних моделей догляду, що ефективно реагують на різноманітні потреби пацієнтів.

Окрім підвищення операційної ефективності, міжсекторальні партнерства формують стійкість і адаптивність складних систем. Завдяки створенню безперервних зворотних зв'язків, обміну даними в реальному часі та спільному ухваленню рішень такі форми співпраці зменшують ризики, пов'язані з невизначеністю, обмеженістю ресурсів і технологічними змінами. Ба більше, вони сприяють поширенню інновацій між секторами, забезпечуючи відтворення та адаптацію найкращих практик і перевірених рішень у нових контекстах.

Отже, розроблення нових форм міжсекторального партнерства є не просто допоміжним заходом, а стратегічною необхідністю для просування міждисциплінарних інновацій. Створюючи рамки, що поєднують ресурси, знання та експертизу через інституційні межі, такі партнерства зміцнюють здатність складних систем реагувати на динамічні екологічні, соціальні й технологічні виклики, сприяючи сталому та інклюзивному розвитку.

Перспективи розвитку універсальних платформ для мультидисциплінарних інновацій

Одним із ключових напрямів розвитку інновацій у межах складних систем є створення універсальних інтеграційних платформ, які забезпечують взаємодію між фахівцями різних дисциплін, автоматизований аналіз даних та

підтримку процесів управління впровадженням інновацій. Такі платформи функціонують як колаборативна інфраструктура, що поєднує технологічні, аналітичні та організаційні інструменти, створюючи єдине середовище для міждисциплінарного розв'язання проблем.

Подібні універсальні платформи можуть включати кілька ключових компонентів:

- Цифрові хаби співпраці — віртуальні середовища, які забезпечують безперервну комунікацію та обмін знаннями між експертами з різних галузей, сприяючи спільному створенню рішень і розвитку міждисциплінарних проєктів.
- Інструменти аналітики великих даних і сценарного моделювання — обчислювальні модулі, що дають змогу обробляти великі масиви даних, моделювати можливі результати та оцінювати системні наслідки запропонованих інновацій.
- Адаптивні системи підтримки прийняття рішень на основі штучного інтелекту (ШІ) — інтелектуальні інструменти, які оптимізують процеси, прогнозують ризики та формують рекомендації щодо стратегічних дій, підвищуючи точність і швидкість прийняття рішень у динамічних середовищах.
- Стандартизовані модулі інтеграції — взаємодіючі компоненти, призначені для гармонізації різних технологій і методологій, зменшення технічних бар'єрів та забезпечення узгодженого впровадження рішень у різних типах систем.

Створення таких платформ дозволяє подолати одну з центральних проблем інновацій у складних системах — фрагментацію знань. Завдяки спільній структурі для міждисциплінарної співпраці ці платформи зменшують дублювання зусиль, підвищують ефективність використання інтелектуальних ресурсів і сприяють трансформації наукових результатів у практичні рішення. Крім того, вони підсилюють масштабованість і адаптивність інновацій, забезпечуючи їхнє швидке впровадження в різних контекстах — від міської інфраструктури та енергетичних систем до мереж охорони здоров'я й екологічного управління.

Більше того, універсальні платформи створюють умови для безперервного навчання та поетапного вдосконалення. Завдяки інтеграції моніторингу в реальному часі, механізмів зворотного зв'язку та аналітики, підтриманої ШІ, ці платформи дозволяють організаціям динамічно коригувати інноваційні стратегії, реагувати на нові виклики та оптимізувати системну ефективність. Вони також сприяють прозорості та відтворюваності,

забезпечуючи можливість оцінювання, тиражування й адаптації інноваційних практик у різних секторах.

Отже, розвиток універсальних платформ для мультидисциплінарних інновацій становить трансформаційний підхід до управління складністю сучасних систем. Поєднуючи технологічну інтеграцію, аналітику на основі даних і міждисциплінарну співпрацю, такі платформи підвищують ефективність, стійкість і сталість складних систем, відкриваючи шлях до прискореного розвитку інновацій і формування широкого суспільного ефекту.

Висновки

Дослідження підтверджує, що інновації у складних системах досягають найвищої ефективності завдяки мультидисциплінарному підходу. Інтеграція знань, методологій і технологій з різних галузей підвищує адаптивність, стійкість і загальну результативність систем.

Основні висновки включають:

- ***Спільні системні закономірності.*** Незважаючи на різницю між технічними, соціальними, екологічними, оборонними та медичними сферами, складні системи мають універсальні принципи розвитку інновацій. Виявлення таких закономірностей сприяє передачі найкращих практик і впровадженню ефективних інноваційних стратегій між секторами.
- ***Синергія через інтеграцію.*** Міждисциплінарна співпраця об'єднує інженерію, інформаційні технології, біологію та соціальні науки, підвищуючи точність прогнозування, ефективність і здатність систем реагувати на потреби людини та довкілля.
- ***Методологічні інструменти.*** Системний аналіз, управління проєктами, колаборативні платформи та аналітика великих даних забезпечують системну інтеграцію інновацій, моніторинг впливу та адаптивне управління.
- ***Сфери застосування.*** Мультидисциплінарні інновації дають вимірювані результати в енергетичних системах, оборонних технологіях, урбаністичній екології та інклюзивних середовищах.

Водночас залишаються виклики, пов'язані з гармонізацією стандартів, подоланням фрагментації знань і розвитком міжсекторальних партнерств. Їхнє ефективне вирішення забезпечить узгодженість, масштабованість і сталість інноваційних процесів.

Отже, мультидисциплінарний підхід формує концептуальну основу для інтеграції технічних, соціальних і екологічних вимірів складних систем, зміцнюючи їхню стійкість, ефективність і сталий розвиток у різних сферах діяльності.

References

1. Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Reading, MA: Addison-Wesley.
2. Helbing, D. (2013). Globally networked risks and how to respond. *Nature*, 497, 51–59.
3. Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467–482.
4. Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing.
5. Гаврилюк, В. М. (2020). Системний аналіз у контексті складних соціально-економічних процесів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*, 4(217), 11–18.
6. Carayannis, E. G., Campbell, D. F. J., & Rehman, S. S. (2021). Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems. *Springer*.
7. Zhang, H., Li, Y., & Wang, Z. (2023). Complex adaptive systems in defense innovation. *Defence Technology*, 19(3), 342–355.
8. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2021). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 28, 24–30.
9. Мельник, В., Шевченко, Р., & Бондаренко, Л. (2020). Урбанізовані теплові острови: стратегії пом'якшення та адаптації до клімату. *Environmental Research Letters*, 15(11), 1–15.
10. Тимошенко, В. (2022). Цифрова доступність для людей з інвалідністю: методи та технології. *Journal of Social Innovations*, 14(1), 55–72.

[EN_6]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Multidisciplinary Innovations in Complex Systems

Abstract

This paper examines innovations in complex systems using a multidisciplinary approach. The concept of a "complex system" and its classification (technical, social, ecological, military, medical) are analyzed, along with the interconnection of innovations and knowledge synergy across different fields. Methodological approaches for innovation development in complex systems are presented, including systems analysis, project management, and the integration of artificial intelligence and big data. Practical applications in energy, defense, urban ecology, and inclusion are reviewed. Challenges and prospects for multidisciplinary innovations, including knowledge fragmentation, standardization, and cross-sectoral partnerships, are highlighted. The paper contributes both theoretical novelty and practical value for researchers, technology developers, and complex systems managers [1, 2].

Keywords: Innovation of complex systems, multidisciplinary approach, Complex systems, Systemic analysis, Artificial intelligence, Big data, Urban ecology, Defense technologies, Inclusion

Introduction

Modern complex systems are characterized by a high degree of integration among their components and interdependence between technical, social, ecological, and organizational subsystems. Innovations within such systems play a crucial role, as they not only enhance efficiency but also ensure resilience and adaptability to changing conditions [1, 3].

The increasing complexity of contemporary objects of study and management necessitates the adoption of a multidisciplinary approach, which integrates knowledge from diverse fields, including engineering, information technology, biology, sociology, and management [2, 4]. This approach fosters a synergy of competencies, accelerates the implementation of innovations, and enables a comprehensive assessment of system performance. By leveraging cross-disciplinary

insights, stakeholders can anticipate systemic risks, optimize resource allocation, and enhance overall effectiveness.

The purpose of this study is to investigate innovations in complex systems using a multidisciplinary approach, define the methodological foundations for their development, and identify practical areas of application. The objectives of the article include:

- Analysis of the theoretical foundations of complex systems and their classification;
- Examination of methodologies for innovation development in complex systems;
- Review of practical applications across various sectors;
- Identification of key challenges and future prospects for multidisciplinary innovations.

This work contributes scientific novelty by providing a comprehensive perspective on innovation processes within complex systems, highlighting cross-disciplinary integration as a driver of effectiveness. Its practical significance lies in guiding technological development in energy, defense, urban ecology, and inclusive solutions, thereby offering a framework for researchers, practitioners, and system managers.

Theoretical block

Concept of Complex Systems

A complex system can be defined as an organized set of interrelated elements capable of functioning as a coherent and adaptive structure while responding to continuous changes in the external environment. These systems are distinguished by a high degree of interdependence among their components, meaning that an alteration in one element can propagate throughout the network, affecting other elements in direct and sometimes indirect ways.

Complex systems also exhibit nonlinear behavior, where the relationship between inputs and outputs is not proportional, and small changes can lead to disproportionately large or unexpected consequences. Another key characteristic of complex systems is their capacity for self-regulation and emergent behavior, which enables them to maintain stability, reorganize their internal structure, and optimize performance under varying external pressures.

Understanding complex systems requires a multidisciplinary perspective that integrates insights from engineering, information technology, biology, social sciences, and management. This approach captures both micro-level interactions of individual components and macro-level patterns emerging from these interactions. Such a holistic perspective facilitates the identification of critical nodes, potential vulnerabilities, and opportunities for innovation, allowing for the effective design, implementation, and sustainable development of complex systems.

In contemporary research, complex systems are commonly classified according to their functional and structural characteristics. This classification provides a framework for understanding the diversity of complex systems and highlights general principles underlying their development, adaptation, and the integration of innovative solutions across different domains (see Table 1).

1. Classification of complex systems

Type of Complex System	Examples	Key Features
Technical systems	Industrial complexes, transportation and energy networks, automated production lines	High degree of engineering integration, reliance on physical infrastructure, scalability
Social systems	Organizations, communities, economic and educational networks	Human-centered interactions, social norms, organizational structures
Environmental systems	Natural landscapes, urban ecosystems, bioenergy complexes	Dependence on ecological balance, sustainability considerations
Medical systems	Healthcare services, rehabilitation centers, remote patient monitoring systems	Integration of clinical, technological, and organizational components

Source: Author's compilation

This classification illustrates that although each type of complex system possesses distinct structural and functional characteristics, the general patterns of development, innovation implementation, and adaptive management remain similar. This makes it possible to apply a multidisciplinary approach to their study and practical application [5].

This classification highlights that, despite their diverse nature, complex systems share common principles of development and innovation implementation. This universality enables the application of a multidisciplinary approach, which combines expertise from engineering, information technology, biology, sociology, and management to achieve higher efficiency and resilience.

Key Features of Complex Systems:

- Interdependence: Components influence one another; small changes can propagate throughout the system.
- Nonlinearity: Outputs are not proportional to inputs, requiring adaptive strategies.
- Self-regulation: Mechanisms exist to maintain stability in response to external perturbations.
- Adaptivity: Ability to respond to environmental changes and evolving conditions.

The understanding and classification of complex systems are essential for the design and development of effective innovations, allowing researchers and

practitioners to target interventions at critical points and ensure optimal integration across different system types.

Relationship between Innovation and Multidisciplinarity

Innovation in complex systems usually goes beyond the boundaries of a single discipline. The effective implementation of new technologies, management methods, or organizational solutions requires the integration of knowledge and competencies from different fields, which enhances the adaptability of systems to dynamic environmental conditions.

A multidisciplinary approach makes it possible to:

- improve the accuracy of forecasting the consequences of innovation;
- carry out a comprehensive assessment of risks and benefits in the long-term perspective;
- accelerate system adaptation to unpredictable factors, particularly during crises or wartime challenges;
- create knowledge synergies that strengthen the intellectual potential of researchers, developers, and managers [6].

Depending on the application domain, multidisciplinarity takes different forms:

- in technical systems, the integration of engineering and digital solutions improves efficiency and resilience;
- in social systems, the combination of management and communication sciences forms new models of community and organizational interaction;
- in ecological systems, the collaboration between environmental and economic sciences ensures a balance between efficiency and resource conservation;
- in military systems, the synergy of surveillance, camouflage, and management technologies enables multi-level protection [7];
- in medical systems, the integration of clinical practices, digital platforms, and bioengineering solutions improves the quality of treatment and patient monitoring.

Synergy of Knowledge from Different Disciplines: Engineering + IT + Biology + Sociology

The synergy of knowledge in a multidisciplinary context refers to the combination of methods and approaches from different scientific domains to achieve results that would be impossible within the framework of a single discipline. This integration generates new intellectual value, accelerates innovation processes, and supports the resilience of complex systems.

For example:

- Engineering provides the basis for creating physical and technical solutions, from infrastructure to advanced materials.

- Information Technologies (IT) enable process automation, simulation, and big data analytics, ensuring scalability and precision [8].
- Biology contributes knowledge about adaptive mechanisms, biomimetic solutions, and energy efficiency, inspiring sustainable innovations.
- Sociology helps understand behavioral and organizational aspects of human interaction with systems, supporting inclusivity and social sustainability [9].

The integration of these disciplinary domains establishes a robust foundation for innovation, enabling complex systems to simultaneously address technical efficiency, environmental adaptation, and social relevance. By combining knowledge and methods from multiple fields, it is possible to create solutions that are not only functionally effective but also resilient to unforeseen changes and challenges. This interdisciplinary synergy ensures that complex systems maintain sustainability, operational flexibility, and high productivity in the context of rapid technological developments and evolving societal needs [5].

The integration of engineering, information technology, biology, and sociology creates a robust foundation for the development of innovations that simultaneously enhance technical efficiency, environmental sustainability, and social relevance. By combining domain-specific methodologies—such as systems engineering, data science, biomimetic design, and socio-behavioral analysis—multidisciplinary teams can approach problems from complementary angles, revealing leverage points that remain invisible within single-discipline studies. This multidimensional synergy enables complex systems to maintain high adaptability, resilience, and operational productivity, particularly in contexts characterized by rapid technological advancement and evolving societal needs. Moreover, such integrative work supports evidence-based decision making by aligning quantitative models with qualitative insights, thereby improving both short-term operational outcomes and long-term strategic planning. By leveraging complementary expertise, multidisciplinary approaches can anticipate emergent behaviors, optimize system performance, and generate solutions that are both scalable and context-sensitive.

The integration of engineering, information technology, biology, and sociology creates a robust foundation for the development of innovations that simultaneously enhance technical efficiency, environmental sustainability, and social relevance. This multidimensional synergy enables complex systems to maintain high adaptability, resilience, and operational productivity, particularly in contexts characterized by rapid technological advancement and evolving societal needs. By leveraging complementary expertise, multidisciplinary approaches can anticipate emergent behaviors, optimize system performance, and generate solutions that are both scalable and context-sensitive.

The growing interconnection between these disciplines highlights the importance of coordinated methodologies, where each field contributes distinct analytical tools, theoretical perspectives, and applied techniques. Such integration not only advances system-level innovation but also promotes the translation of scientific knowledge into practical, socially beneficial outcomes. This synthesis is especially critical in the transition toward sustainable and human-centered technological paradigms.

The specific contributions of each discipline to complex system innovation are summarized below (Table 2).

Table 2. Contribution of disciplines to the innovation of complex systems

Discipline	Main contribution to innovation	Example of application
Engineering	Development of physical and technical solutions	Renewable energy storage, robotics
IT	Process automation, simulation, big data analytics	Smart cities, cyber-physical systems
Biology	Biomimetic approaches, energy efficiency, adaptability	Bio-inspired materials, green tech
Sociology	Behavioral and organizational aspects, inclusivity	Participatory governance, e-health

Source: Author's compilation

Methodological Block

Approaches to Innovation Development in Complex Systems

The development of innovations in complex systems requires a systemic and multi-level approach that considers both internal system characteristics and external influences. Key methodological strategies include:

- Systems approach – viewing the system as a holistic entity that accounts for the interaction of all components. This allows for identifying critical points, predicting long-term behavior, and modeling the consequences of innovation implementation.
- Evolutionary approach – gradual improvement of the system through the integration of controlled innovative changes. This stepwise process reduces risks, facilitates interim evaluation, and increases reliability.
- Adaptive approach – flexible reaction to external factors, including technological, social, ecological, and security-related. It enables rapid correction of decisions and the integration of new tools in uncertain conditions.
- Scenario-based approach – using predictive models and alternative development scenarios. This helps test different trajectories of change and determine the optimal course of action.

Integration Methods

Integrating knowledge and solutions from various disciplines is a key success factor in multidisciplinary innovations. The main methods include:

- Systems analysis – evaluation of the structure, functions, and interconnections of components. It allows for identifying high-impact zones for innovations and forecasting systemic effects.
- Project Management – planning, organizing, monitoring, and controlling project implementation.
- Cross-disciplinary platforms – digital and organizational environments for collaboration among specialists from different fields, promoting rapid knowledge exchange, collective modeling, and accelerated testing of innovative solutions.
- Modeling and simulation – use of digital twins, mathematical and computer models to test solutions in a virtual environment before implementation.
- SWOT and risk analysis – structured assessment of strengths, weaknesses, opportunities, and threats, allowing prediction of innovation outcomes and mitigation of negative effects.

Formalized Model

The process of innovation in complex systems can be formalized to reflect its inherently multidisciplinary nature, capturing the interdependencies among environmental, social, economic, and technological factors. A mathematical representation allows for systematic analysis and quantification of the influence of each factor on the overall level of system innovativeness. The relationship can be expressed as follows (Formula 1):

$$I = \alpha E^{\beta} So^{\gamma} Ec^{\delta} T^{\epsilon} \quad (1)$$

Where:

I - level of innovation of the system;

E - technical/engineering factors;

So - social factors;

Ec - environmental factors;

T - technological solutions;

α - scaling factor;

$\beta, \gamma, \delta, \epsilon$ – coefficients of influence of each factor on innovativeness.

Source: Author's compilation

This formalized model provides a structured basis for designing, evaluating, and optimizing innovations, ensuring that all critical dimensions of complex systems are accounted for in a cohesive and quantitative manner. By quantifying the influence of different domains, researchers and practitioners can identify priority

areas for intervention and predict the outcomes of potential innovations under various scenarios.

Building on this formalized representation, the methodology of innovation development can be visually conceptualized using a block diagram. This diagram illustrates the sequential and interdependent stages of the innovation process, providing a clear framework for both analysis and practical implementation.

Such a visual tool enhances understanding of the workflow, clarifies the relationships between methodological stages, and supports the systematic planning of interventions (Figure 1).

Current order of stages:

1. Input Data
 - Environmental, social, economic and technological performance
2. Stage 1: Systems Analysis
 - Identifying structural relationships
 - Identification of critical points
3. Stage 2: Integration of Methods
 - Project Management (PMBOK, Agile)
 - Cross-disciplinary platforms
 - Modeling & Simulation
4. Stage 3: Scenario Modeling
 - Alternative development scenarios
 - Digital Twin, forecasting
5. Stage 4: Risk Assessment
 - SWOT analysis
 - Assessing opportunities and threats
6. Output Results
 - Ready-made innovative solutions
 - Recommendations for practical implementation

Figure 1. Methodology of Innovation Development in Complex Systems

Source: Author's compilation

This integrated approach, combining formalized mathematical modeling with structured methodological stages, provides a comprehensive pathway for the systematic development, testing, and implementation of innovations in complex, multidisciplinary systems. It enables both rigorous quantitative evaluation and practical guidance for decision-makers, ensuring that innovations are effectively aligned with technical, social, environmental, and technological objectives.

Artificial Intelligence and Big Data in Complex Systems

Definition and Key Concepts

Artificial Intelligence (AI) is a field of computer science focused on creating systems capable of performing tasks typically requiring human intelligence, such as learning, pattern recognition, decision-making, and natural language processing. Key subfields include machine learning, deep learning, natural language processing, and computer vision.

Big Data refers to the collection, processing, and analysis of massive volumes of structured and unstructured information, enabling the identification of patterns, trends, and relationships that are not visible using traditional methods.

Role of AI and Big Data in Complex Systems

Integration of AI and big data analytics in complex systems allows:

- Prediction and assessment of innovation effects: modeling system behavior and identifying potential outcomes of changes.
- Automation of management processes and resource optimization: improving process efficiency, reducing costs, and accelerating decision-making.
- Identification of hidden interconnections among system components: analyzing structural and functional dependencies to improve accuracy of predictions.
- Decision support based on real data and machine learning models: integrating AI algorithms into strategic and operational management processes.

Integration of AI and big data in innovation development accelerates decision-making, reduces risks, and ensures adaptability of complex systems in dynamic environments.

Use of AI in Ukraine

In Ukraine, AI is applied in:

- Defense and Security: autonomous UAVs, surveillance systems, and data analytics.
- Healthcare: diagnostics, personalized treatment, and management of medical data.
- Energy: optimization of energy grids and demand forecasting.
- Education: adaptive learning systems and intelligent assistants.

Challenges and Prospects:

- Ethical concerns: ensuring algorithmic transparency and fairness, avoiding bias.
- Regulation: developing national and international AI usage standards.
- Infrastructure: need for computational resources and skilled specialists.

Prospects include integration with IoT and 5G technologies, development of smart cities, Industry 4.0, and support of innovation processes in complex systems.

Practical applications

Energy Sector

Innovations in complex energy systems focus on the integration of renewable energy sources with storage systems and smart grids. This approach allows:

- ensuring continuous energy supply;
- optimizing the balance between production and consumption;
- reducing reliance on traditional energy sources;
- increasing system resilience to external shocks and unpredictable changes.

The use of big data and artificial intelligence algorithms enables forecasting consumption peaks, managing energy distribution in real time, and improving the overall efficiency of the energy system. Integration of these technologies reflects an interdisciplinary approach, combining engineering solutions, information technology, and economic planning to create adaptive and high-performance systems.

Defense

In military systems, innovations are primarily aimed at enhancing the resilience, protection, and operational efficiency of critical assets. Modern defense technologies encompass several interconnected domains, integrating engineering, information technology, materials science, and advanced management systems. Key innovations include:

- Thermal camouflage – the development and application of specialized materials and coatings that reduce infrared emissions, thereby decreasing the visibility of objects to drones and thermal imaging systems. Such materials often rely on adaptive or bio-inspired properties to dynamically respond to environmental changes, enhancing survivability under diverse operational conditions.
- Anti-drone systems – comprehensive sets of hardware and software solutions designed to detect, track, and neutralize unmanned aerial vehicles (UAVs) in critical zones. These systems utilize radar, radiofrequency sensors, machine learning algorithms, and automated control interfaces to provide real-time threat assessment and response.
- Cybersecurity – the integration of network and information technologies to secure sensitive data and ensure reliable control of complex defense systems. Innovations in cybersecurity include advanced encryption methods, anomaly detection, and predictive threat modeling to prevent unauthorized access and maintain operational continuity.

The adoption of multidisciplinary approaches in defense innovation demonstrates substantial strategic, operational, and technological benefits. By integrating principles from engineering, information and communication technologies, materials science, and systems control, defense organizations achieve a significantly enhanced degree of situational awareness, operational efficiency, and resilience against both conventional and emerging threats. The convergence of these disciplines facilitates the development of solutions that are technically sophisticated, contextually adaptable, and capable of responding to the dynamic and complex nature of contemporary military environments.

Moreover, the incorporation of artificial intelligence (AI) and big data analytics into defense systems considerably augments their capabilities. These technologies enable predictive modeling, real-time threat assessment, optimized resource

allocation, and adaptive response strategies. Consequently, decision-makers are equipped with robust analytical tools that allow for informed, timely, and effective interventions in high-stakes operational contexts. Building on this integrated perspective, the structure and interactions of these multidisciplinary innovations can be visually conceptualized using a block diagram. This diagram illustrates the layered and interdependent components of modern defense systems, providing a clear framework for both analysis and practical implementation (Figure 2).

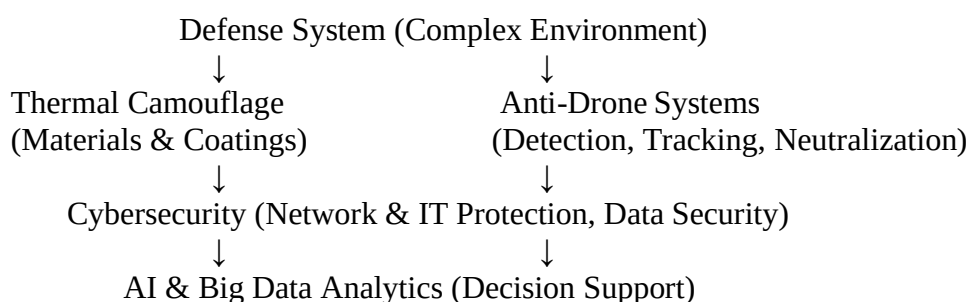


Figure 2. Multidisciplinary Innovations in Defense Systems

Source: Author's compilation

Description:

- Thermal Camouflage – specialized materials and coatings reduce the infrared signature of objects, rendering them less detectable by drones and thermal imaging systems, which enhances stealth capabilities in operational theaters.
- Anti-Drone Systems – an integrated suite of hardware and software tools for detecting, tracking, and neutralizing unmanned aerial vehicles in sensitive areas, mitigating potential threats to personnel and infrastructure.
- Cybersecurity – comprehensive protection of networked systems and sensitive data, ensuring secure communication, operational continuity, and the integrity of command and control processes.
- AI & Big Data Analytics – advanced algorithms analyze extensive datasets from multiple sources, providing predictive insights, supporting real-time decision-making, and enabling adaptive response strategies to evolving threats.

This integrated block diagram demonstrates how multidisciplinary innovations operate synergistically, producing a layered defense system that enhances situational awareness, operational efficiency, and resilience against both conventional and emerging threats. The representation emphasizes the critical importance of combining technical, informational, and analytical dimensions to establish a cohesive and robust defense strategy.

Urban Ecology

Innovative approaches in urban ecology are primarily aimed at enhancing the resilience of cities and improving the quality of life for their inhabitants. These

approaches are characterized by the integration of technical, environmental, and social solutions, reflecting a multidisciplinary strategy that combines insights from ecology, engineering, urban planning, and information technologies. The key directions of application include:

- Waste Management – Modern urban waste management involves the integration of advanced systems for source separation, recycling, and bioenergy production. By implementing closed-loop processes, cities can significantly reduce the burden on landfills while simultaneously generating additional resources, such as biogas or biofuels, from organic waste. The application of smart technologies, including sensors, data analytics, and automated sorting systems, further optimizes operational efficiency, minimizes environmental pollution, and contributes to the circular economy.
- Mitigation of Urban Heat Islands – Urban areas often experience elevated temperatures due to the concentration of built infrastructure, a phenomenon known as the “urban heat island effect.” Innovative solutions aimed at reducing thermal stress include the installation of green roofs and facades, reflective and high-albedo surfaces, and the incorporation of vegetation corridors and water-sensitive urban design elements. These strategies not only lower ambient temperatures but also improve urban air quality, promote biodiversity, and enhance social well-being by creating more comfortable microclimates for residents [9].
- Bioenergy and Renewable Resource Utilization – The production of bioenergy from organic waste and plant biomass represents a critical component of sustainable urban development. Through the controlled conversion of organic materials into biogas, biofuels, or other energy forms, cities can reduce dependence on traditional fossil-based energy sources, decrease greenhouse gas emissions, and foster energy self-sufficiency. Integrating bioenergy production into urban planning requires interdisciplinary coordination, encompassing waste engineering, chemical and biological processing, and real-time energy management using information technologies.

Overall, these innovative directions in urban ecology demonstrate how complex systems benefit from a multidisciplinary approach, combining environmental engineering, urban planning, and advanced technological solutions. By implementing these strategies, cities not only improve environmental sustainability but also create adaptive, resilient, and livable urban spaces capable of responding to ongoing climatic, social, and technological changes.

Inclusion and Accessibility

Innovations in complex systems play a critical role in promoting inclusion and accessibility, ensuring that urban, educational, and social infrastructures are

responsive to the diverse needs of all individuals, including people with disabilities. Modern approaches to inclusion are inherently multidisciplinary, combining insights from engineering, information technologies, social sciences, and education to create adaptive, resilient, and accessible systems. Key areas of practical implementation include:

- Accessible Physical and Digital Environments – The design and deployment of inclusive public spaces and digital services are essential for enabling individuals with varying abilities to participate fully in social, educational, and economic activities. This involves the integration of universal design principles, assistive technologies, and smart infrastructure that support mobility, navigation, and independent access [10].
- Adaptive Educational Platforms – Technological innovations allow for the development of personalized and adaptive learning systems that account for individual needs, learning styles, and cognitive abilities. These platforms employ advanced analytics, machine learning algorithms, and interactive interfaces to deliver tailored educational content, monitor progress, and provide timely feedback, thereby improving learning outcomes for students with diverse abilities.
- Monitoring and Supporting Mobility and Social Integration – The integration of sensor-based technologies, communication networks, and information systems enables continuous monitoring of mobility patterns, health, and social engagement for people with disabilities. Such solutions facilitate the early detection of potential challenges, support independent living, and enhance social participation. They also allow policymakers and urban planners to make data-driven decisions that optimize accessibility and inclusivity at the systemic level.

The practical implementation of these innovations demonstrates the power of a multidisciplinary approach in addressing complex societal challenges. By combining technical, social, and environmental considerations, such integrated solutions enhance the efficiency, safety, and resilience of complex systems, while promoting equitable access and fostering inclusive urban and educational environments. These approaches not only improve the quality of life for individuals but also contribute to the development of sustainable, adaptive, and socially responsible systems in rapidly changing environments.

Challenges and Prospects

Risks of Knowledge Fragmentation Without Integration

One of the primary challenges in the development and implementation of innovations within complex systems is the fragmentation of knowledge across different disciplines and sectors. In the absence of effective integration mechanisms, such fragmentation can lead to the duplication of efforts, underutilization of

available expertise, and the emergence of suboptimal or erroneous solutions. This problem is particularly acute in systems characterized by high complexity, where the interactions among components are indirect, nonlinear, and often dynamic, meaning that errors or inefficiencies at one level can propagate and generate cascading effects throughout the system.

The consequences of knowledge fragmentation extend beyond mere inefficiency. They may impede the identification of critical interdependencies, reduce the system's adaptive capacity, and limit the potential for innovative breakthroughs. In multidisciplinary environments, uncoordinated research and development efforts can result in conflicting methodologies, incompatible technologies, and gaps in both data collection and analytical frameworks. Such gaps compromise the ability of decision-makers to obtain a holistic understanding of the system, thereby increasing risks associated with strategic planning, operational management, and policy formulation.

Addressing these risks requires structured approaches to knowledge integration, including cross-disciplinary collaboration, shared platforms for data and insight exchange, and the adoption of systems thinking frameworks. Tools such as ontologies, integrated modeling environments, and collaborative project management methodologies help synthesize diverse expertise and create coherent strategies for innovation. Furthermore, the integration of advanced information technologies, including artificial intelligence and big data analytics, can enhance the coordination of knowledge flows and support real-time decision-making, thereby reducing fragmentation and enhancing the resilience, adaptability, and overall effectiveness of complex systems.

The development of effective strategies to mitigate knowledge fragmentation represents both a significant challenge and a key opportunity for advancing the capacity of complex systems to innovate sustainably. By fostering interdisciplinary integration, organizations and communities can ensure that innovations are not only technically sound but also socially relevant, environmentally sustainable, and capable of adapting to evolving contexts and unforeseen disturbances.

The Challenge of Harmonizing Regulatory and Technical Standards

A significant challenge in the advancement of innovations within complex systems lies in the harmonization of regulatory frameworks and technical standards across diverse sectors. Different industries often operate under their own sets of technical norms, safety regulations, and compliance protocols, which may be inconsistent, conflicting, or even mutually exclusive. Such disparities present substantial obstacles to the integration of innovative solutions, particularly when complex systems require the collaboration of governmental agencies, commercial enterprises, and civil society organizations.

The lack of standardized harmonization can impede interoperability, increase the risk of errors, and reduce the overall efficiency of system operations. For instance, when technical specifications differ across components or subsystems, integration can become costly, time-consuming, and prone to failure. Moreover, regulatory inconsistencies may hinder the adoption of novel technologies, as legal compliance requirements and safety certifications vary between sectors and jurisdictions. These challenges are amplified in systems with high interconnectivity and dynamic interactions, where the failure of one component to meet a standard can cascade into broader systemic inefficiencies or even critical failures.

Addressing this issue requires a coordinated approach that encompasses the alignment of technical standards, the development of cross-sector regulatory frameworks, and the implementation of adaptive governance models. Mechanisms such as inter-agency working groups, international standards adoption, and collaborative certification processes facilitate the reconciliation of divergent requirements and promote coherence across system components. Furthermore, integrating digital platforms for real-time monitoring, compliance verification, and standardization support can enhance transparency, reduce conflicts, and enable more agile innovation deployment.

The harmonization of technical and regulatory standards is not merely a procedural necessity; it constitutes a strategic enabler for the successful implementation of interdisciplinary innovations. By ensuring compatibility, safety, and operational efficiency across complex systems, harmonized standards enhance the capacity of organizations to innovate sustainably while minimizing risks associated with technical incompatibility, regulatory violations, and fragmented system performance. In the context of rapidly evolving technological, social, and environmental conditions, this alignment becomes a cornerstone for resilient, adaptive, and integrated system development.

The Need for New Forms of Cross-Sectoral Partnerships

The successful implementation of innovations in complex systems increasingly depends on proactive and strategic collaboration across multiple sectors, including public institutions, private enterprises, academic and research organizations, and civil society entities. Such cross-sectoral partnerships are essential for pooling resources, consolidating diverse competencies, and leveraging collective expertise. By integrating knowledge and capabilities from different domains, these partnerships enhance the scalability, sustainability, and effectiveness of innovative solutions.

Emerging forms of cross-sectoral collaboration include joint research platforms, innovation hubs, collaborative networks, and multi-stakeholder coalitions that facilitate knowledge exchange and coordinated problem-solving. Joint research

platforms, for example, provide shared infrastructure, computational tools, and data resources that enable interdisciplinary teams to develop and test innovations more efficiently. Innovation hubs serve as catalysts for experimentation, supporting start-ups, pilot projects, and technology transfer activities that bridge gaps between research and practical application. Multi-stakeholder coalitions further promote alignment between regulatory frameworks, technical standards, and societal needs, ensuring that innovations are both technically robust and socially acceptable.

The need for such partnerships is especially acute in complex systems with multifaceted, interdependent challenges. In urban sustainability projects, collaborations among municipal authorities, energy providers, universities, and NGOs can accelerate the deployment of smart infrastructure, renewable energy, and inclusive technologies. Similarly, in healthcare, partnerships between medical institutions, technology companies, and research labs facilitate integration of digital health tools, telemedicine platforms, and adaptive care models that effectively address diverse patient needs.

Beyond operational efficiency, cross-sectoral partnerships foster resilience and adaptability in complex systems. By enabling continuous feedback loops, real-time data sharing, and joint decision-making, these collaborations mitigate risks associated with uncertainty, resource constraints, and technological disruption. Furthermore, they promote innovation diffusion across sectors, ensuring that best practices and successful solutions are replicated and adapted in new contexts.

In conclusion, the development of new forms of cross-sectoral partnerships is not merely a supportive measure but a strategic imperative for the advancement of interdisciplinary innovations. By creating frameworks that combine resources, knowledge, and expertise across institutional boundaries, such partnerships enhance the capacity of complex systems to respond to dynamic environmental, social, and technological challenges while promoting sustainable and inclusive development.

Prospects for the Development of Universal Platforms for Multidisciplinary Innovations

One key prospect in advancing innovations within complex systems is developing universal integrative platforms that enable interaction among specialists from diverse disciplines, support automated data analysis, and manage innovation implementation processes. These platforms serve as collaborative infrastructures, integrating technological, analytical, and organizational tools to provide a unified environment for interdisciplinary problem-solving.

Such universal platforms may encompass several critical components:

- Digital collaboration hubs – virtual environments that enable seamless communication and knowledge exchange among experts from different domains, fostering co-creation and interdisciplinary project development.

- Big data analytics and scenario modeling tools – computational modules that allow for the processing of extensive datasets, simulation of potential outcomes, and evaluation of systemic impacts of proposed innovations.
- Adaptive decision-making systems based on artificial intelligence (AI) – AI-driven tools that optimize processes, predict risks, and guide strategic actions, enhancing decision accuracy and speed in dynamic environments.
- Standardized integration modules – interoperable components designed to harmonize various technologies and methodologies, reducing technical barriers and ensuring coherent implementation across multiple system types.

The establishment of such platforms addresses a central challenge in complex systems innovation: knowledge fragmentation. By providing a shared framework for interdisciplinary collaboration, these platforms reduce redundancies, optimize intellectual resources, and facilitate translating research insights into practical solutions. Moreover, they enhance scalability and adaptability of innovations, enabling rapid deployment across diverse contexts, from urban infrastructure and energy systems to healthcare networks and environmental management.

Furthermore, universal platforms foster continuous learning and improvement. Through real-time monitoring, feedback loops, and AI-driven analytics, they enable organizations to refine strategies dynamically, address emerging challenges, and optimize performance. They also enhance transparency and reproducibility, ensuring innovative practices can be assessed, replicated, and adapted across sectors.

In conclusion, universal platforms for multidisciplinary innovation provide a transformative framework for addressing complexity in modern systems. Integrating technology, data-driven strategies, and cross-disciplinary collaboration, they strengthen system effectiveness, resilience, and sustainability, fostering accelerated innovation and broad societal benefit.

Conclusion

The study confirms that innovations in complex systems reach their highest effectiveness through a multidisciplinary approach. Integrating knowledge, methodologies, and technologies from various fields enhances adaptability, resilience, and overall system performance.

Key findings include:

- ***Common systemic patterns:*** Despite differing domains—technical, social, ecological, defense, and medical—complex systems share universal principles of innovation development. Recognizing these patterns supports the transfer of best practices and efficient innovation strategies across sectors.
- ***Synergy through integration:*** Cross-disciplinary collaboration unites engineering, IT, biology, and social sciences, improving predictive accuracy, efficiency, and responsiveness to human and environmental needs.

- **Methodological tools:** Systems analysis, project management, collaborative platforms, and big data analytics enable systematic innovation integration, impact monitoring, and adaptive management.
- **Application domains:** Multidisciplinary innovations advance energy systems, defense technologies, urban ecology, and inclusive environments.

Challenges remain in harmonizing standards, reducing knowledge fragmentation, and fostering cross-sector partnerships. Addressing these issues will ensure coherent, scalable, and sustainable innovation processes.

In summary, the multidisciplinary approach provides a framework for integrating technical, social, and ecological dimensions of complex systems, reinforcing resilience, efficiency, and sustainability across multiple domains.

References

1. Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Reading, MA: Addison-Wesley.
2. Helbing, D. (2013). Globally networked risks and how to respond. *Nature*, 497, 51–59.
3. Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467–482.
4. Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing.
5. Havryliuk, V. M. (2020). System analysis in the context of complex socio-economic processes. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Economics*, 4(217), 11–18.
6. Carayannis, E. G., Campbell, D. F. J., & Rehman, S. S. (2021). Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems. Springer.
7. Zhang, H., Li, Y., & Wang, Z. (2023). Complex adaptive systems in defense innovation. *Defence Technology*, 19(3), 342–355.
8. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2021). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 28, 24–30.
9. Melnyk, V., Shevchenko, R., & Bondarenko, L. (2020). Urban heat islands: Mitigation strategies and climate adaptation. *Environmental Research Letters*, 15(11), 1–15.
10. Tymoshenko, V. (2022). Digital accessibility for people with disabilities: Methods and technologies. *Journal of Social Innovations*, 14(1), 55–72.

[ES_6]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Innovaciones multidisciplinares en sistemas complejos

Resumen

Este artículo examina las innovaciones en sistemas complejos mediante un enfoque multidisciplinario. Se analizan el concepto de "sistema complejo" y su clasificación (técnico, social, ecológico, militar, médico), así como la interconexión de innovaciones y la sinergia del conocimiento entre distintos campos. Se presentan enfoques metodológicos para el desarrollo de innovaciones en sistemas complejos, incluyendo análisis de sistemas, gestión de proyectos e integración de inteligencia artificial y big data. Se revisan aplicaciones prácticas en energía, defensa, ecología urbana e inclusión. Se destacan los desafíos y perspectivas para innovaciones multidisciplinares, incluyendo la fragmentación del conocimiento, la estandarización y las asociaciones intersectoriales. El artículo aporta novedad teórica y valor práctico para investigadores, desarrolladores tecnológicos y gestores de sistemas complejos [1, 2].

Palabras clave: Innovación en sistemas complejos, enfoque multidisciplinario, sistemas complejos, análisis sistémico, inteligencia artificial, big data, ecología urbana, tecnologías de defensa, inclusión

Introducción

Los sistemas complejos modernos se caracterizan por un alto grado de integración entre sus componentes y la interdependencia entre subsistemas técnicos, sociales, ecológicos y organizativos. Las innovaciones dentro de estos sistemas desempeñan un papel crucial, ya que no solo mejoran la eficiencia, sino que también aseguran resiliencia y adaptabilidad frente a condiciones cambiantes [1, 3].

La creciente complejidad de los objetos de estudio y gestión contemporáneos requiere la adopción de un enfoque multidisciplinario, que integre conocimientos de campos diversos, incluyendo ingeniería, tecnologías de la información, biología, sociología y gestión [2, 4]. Este enfoque fomenta la sinergia de competencias, acelera la implementación de innovaciones y permite una evaluación integral del

desempeño del sistema. Al aprovechar perspectivas interdisciplinarias, los interesados pueden anticipar riesgos sistémicos, optimizar la asignación de recursos y mejorar la eficacia global.

El propósito de este estudio es investigar innovaciones en sistemas complejos mediante un enfoque multidisciplinario, definir las bases metodológicas para su desarrollo e identificar áreas prácticas de aplicación. Los objetivos del artículo incluyen:

- Análisis de los fundamentos teóricos de los sistemas complejos y su clasificación;
- Examen de metodologías para el desarrollo de innovaciones en sistemas complejos;
- Revisión de aplicaciones prácticas en diversos sectores;
- Identificación de desafíos clave y perspectivas futuras para innovaciones multidisciplinarias.

Este trabajo aporta novedad científica al proporcionar una perspectiva integral sobre los procesos de innovación en sistemas complejos, destacando la integración interdisciplinaria como motor de efectividad. Su relevancia práctica radica en orientar el desarrollo tecnológico en energía, defensa, ecología urbana y soluciones inclusivas, ofreciendo así un marco útil para investigadores, profesionales y gestores de sistemas.

Bloque Teórico

Concepto de Sistemas Complejos

Un sistema complejo puede definirse como un conjunto organizado de elementos interrelacionados capaz de funcionar como una estructura coherente y adaptable, respondiendo a cambios continuos en el entorno externo. Estos sistemas se caracterizan por un alto grado de interdependencia entre sus componentes, lo que significa que una alteración en un elemento puede propagarse a través de toda la red, afectando a otros elementos de manera directa y, a veces, indirecta.

Los sistemas complejos también exhiben comportamientos no lineales, donde la relación entre entradas y salidas no es proporcional, y pequeños cambios pueden producir consecuencias desproporcionadamente grandes o inesperadas. Otra característica clave de los sistemas complejos es su capacidad de autorregulación y comportamiento emergente, lo que les permite mantener la estabilidad, reorganizar su estructura interna y optimizar su desempeño frente a diversas presiones externas.

La comprensión de los sistemas complejos requiere una perspectiva multidisciplinaria que integre conocimientos de ingeniería, tecnologías de la información, biología, ciencias sociales y gestión. Este enfoque permite capturar tanto las interacciones a nivel micro de los componentes individuales como los patrones macro emergentes de estas interacciones. Una perspectiva holística de este tipo facilita la identificación de nodos críticos, vulnerabilidades potenciales y

oportunidades de innovación, permitiendo un diseño, implementación y desarrollo sostenible de sistemas complejos de manera efectiva.

En la investigación contemporánea, los sistemas complejos se clasifican comúnmente según sus características funcionales y estructurales. Esta clasificación proporciona un marco para comprender la diversidad de los sistemas complejos y resalta los principios generales que subyacen a su desarrollo, adaptación e integración de soluciones innovadoras en distintos dominios (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de Sistemas Complejos

Tipo de Sistema Complejo	Ejemplos	Características Clave
Sistemas Técnicos	Complejos industriales, redes de transporte y energía, líneas de producción automatizadas	Alto grado de integración de ingeniería, dependencia de infraestructura física, escalabilidad
Sistemas Sociales	Organizaciones, comunidades, redes económicas y educativas	Interacciones centradas en el ser humano, normas sociales, estructuras organizativas
Sistemas Ambientales	Paisajes naturales, ecosistemas urbanos, complejos de bioenergía	Dependencia del equilibrio ecológico, consideraciones de sostenibilidad
Sistemas Médicos	Servicios de salud, centros de rehabilitación, sistemas de monitoreo remoto de pacientes	Integración de componentes clínicos, tecnológicos y organizativos

Fuente: Elaboración del autor

Esta clasificación muestra que, aunque cada tipo de sistema complejo tiene características estructurales y funcionales distintas, los patrones generales de desarrollo, implementación de innovaciones y gestión adaptativa son similares. Esto permite aplicar un enfoque multidisciplinario a su estudio y aplicación práctica [5].

Principales Características de los Sistemas Complejos:

- Interdependencia: Los componentes se influyen mutuamente; los cambios pequeños pueden propagarse a todo el sistema.
- No linealidad: Las salidas no son proporcionales a las entradas, requiriendo estrategias adaptativas.
- Autorregulación: Existen mecanismos para mantener la estabilidad frente a perturbaciones externas.
- Adaptabilidad: Capacidad de responder a cambios ambientales y condiciones evolutivas.

La comprensión y clasificación de los sistemas complejos es esencial para el diseño y desarrollo de innovaciones efectivas, permitiendo a investigadores y profesionales enfocar intervenciones en puntos críticos y asegurar la integración óptima entre diferentes tipos de sistemas.

Relación entre Innovación y Multidisciplinariedad

La innovación en sistemas complejos supera los límites de una sola disciplina. La implementación efectiva de nuevas tecnologías, métodos de gestión u soluciones organizativas requiere integrar conocimientos y competencias de distintos campos, aumentando la adaptabilidad de los sistemas frente a condiciones dinámicas.

Un enfoque multidisciplinario permite:

- mejorar la precisión en la previsión de impactos de la innovación;
- evaluar integralmente riesgos y beneficios a largo plazo;
- acelerar la adaptación a factores imprevisibles, especialmente en crisis o conflictos;
- generar sinergias de conocimiento que potencien investigadores, desarrolladores y gestores [6].

Según el dominio de aplicación, la multidisciplinariedad adopta distintas formas:

- Sistemas técnicos: integración de ingeniería y soluciones digitales para eficiencia y resiliencia;
- Sistemas sociales: gestión y comunicación generan nuevos modelos de interacción comunitaria y organizativa;
- Sistemas ecológicos: cooperación entre ciencias ambientales y económicas asegura eficiencia y conservación de recursos;
- Sistemas militares: sinergia de vigilancia, camuflaje y gestión permite protección multinivel [7];
- Sistemas médicos: integración de prácticas clínicas, plataformas digitales y bioingeniería mejora tratamiento y monitoreo.

Sinergia del Conocimiento: Ingeniería + TI + Biología + Sociología

La sinergia multidisciplinaria combina métodos de distintos dominios para lograr resultados imposibles en una sola disciplina, generando valor intelectual, acelerando la innovación y fortaleciendo la resiliencia de sistemas complejos.

Ejemplos de contribución:

- Ingeniería: soluciones físicas y técnicas, infraestructura y materiales avanzados.
- TI: automatización, simulación y análisis de big data, asegurando escalabilidad y precisión [8].
- Biología: mecanismos adaptativos, soluciones biomiméticas y eficiencia energética, inspirando innovaciones sostenibles.
- Sociología: comprensión de aspectos conductuales y organizativos, apoyando inclusión y sostenibilidad social [9].

La integración de estas disciplinas ofrece una base sólida para innovaciones que mejoran eficiencia técnica, adaptación ambiental y relevancia social. Al combinar ingeniería de sistemas, ciencia de datos, diseño biomimético y análisis socio-conductual, los equipos multidisciplinarios identifican puntos críticos que escapen a estudios aislados. Esta sinergia potencia adaptabilidad, resiliencia y

productividad frente a avances tecnológicos y demandas sociales cambiantes, favoreciendo decisiones basadas en evidencia que alinean modelos cuantitativos con percepciones cualitativas para optimizar resultados y planificación estratégica.

El creciente entrelazamiento de estas disciplinas destaca la necesidad de metodologías coordinadas, donde cada campo aporta herramientas analíticas, perspectivas teóricas y técnicas aplicadas, promoviendo la traducción del conocimiento científico en resultados prácticos y socialmente beneficiosos. Esta integración es crítica en la transición hacia paradigmas tecnológicos sostenibles y centrados en el ser humano.

A continuación se resumen las contribuciones específicas de cada disciplina a la innovación en sistemas complejos (Tabla 2).

Tabla 2. Contribución de disciplinas a la innovación en sistemas complejos

Disciplina	Contribución principal	Ejemplo de aplicación
Ingeniería	Desarrollo de soluciones físicas y técnicas	Almacenamiento de energía renovable, robótica
TI	Automatización, simulación, big data	Ciudades inteligentes, sistemas ciber-físicos
Biología	Biomimética, eficiencia energética, adaptabilidad	Materiales bioinspirados, tecnologías verdes
Sociología	Aspectos conductuales y organizativos, inclusión	Gobernanza participativa, e-salud

Fuente: Elaboración del autor

Bloque Metodológico

Enfoques para el Desarrollo de Innovaciones en Sistemas Complejos

El desarrollo de innovaciones en sistemas complejos requiere un enfoque sistémico y multinivel que considere tanto las características internas del sistema como las influencias externas. Las principales estrategias metodológicas incluyen:

- Enfoque sistémico – considerar el sistema como una entidad holística que integra la interacción de todos sus componentes. Esto permite identificar puntos críticos, predecir el comportamiento a largo plazo y modelar las consecuencias de la implementación de innovaciones.
- Enfoque evolutivo – mejora gradual del sistema mediante la integración de cambios innovadores controlados. Este proceso escalonado reduce riesgos, facilita la evaluación intermedia y aumenta la confiabilidad.
- Enfoque adaptativo: reacción flexible ante factores externos —tecnológicos, sociales, ecológicos y de seguridad— que permite corregir decisiones e integrar nuevas herramientas en contextos de incertidumbre.
- Enfoque basado en escenarios – utilización de modelos predictivos y escenarios de desarrollo alternativos. Facilita la prueba de diferentes trayectorias de cambio y la determinación del curso de acción óptimo.

Métodos de Integración

La integración de conocimientos y soluciones de diversas disciplinas es un factor clave para el éxito de las innovaciones multidisciplinares. Los métodos principales incluyen:

- Análisis de sistemas – evaluación de la estructura, funciones e interconexiones de los componentes. Permite identificar zonas de alto impacto para innovaciones y prever efectos sistémicos.
- Gestión de proyectos – planificación, organización, monitoreo y control de la implementación del proyecto.
- Plataformas interdisciplinarias – entornos digitales y organizativos que facilitan la colaboración entre especialistas, promoviendo el intercambio ágil de conocimiento y la modelación colectiva de soluciones innovadoras.
- Modelación y simulación: uso de gemelos digitales y modelos matemáticos para probar soluciones virtualmente antes de su implementación.
- Análisis SWOT y de riesgos – evaluación estructurada de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, permitiendo prever los resultados de la innovación y mitigar efectos negativos.

Modelo Formalizado

El proceso de innovación en sistemas complejos puede formalizarse para reflejar su naturaleza inherentemente multidisciplinaria, capturando las interdependencias entre factores ambientales, sociales, económicos y tecnológicos. Una representación matemática permite un análisis sistemático y la cuantificación de la influencia de cada factor sobre el nivel general de innovación del sistema. La relación puede expresarse como sigue (Fórmula 1):

$$I = \alpha E^{\beta} S o^{\gamma} E c^{\delta} T^{\epsilon} \quad (1)$$

Donde:

I - nivel de innovación del sistema;

E - factores técnicos/ingenieriles;

So - factores sociales;

Ec - factores ambientales;

T - soluciones tecnológicas;

α - factor de escala;

$\beta, \gamma, \delta, \epsilon$ – coeficientes de influencia de cada factor en la innovación.

Fuente: elaboración del autor

Este modelo formalizado proporciona una base estructurada para el diseño, evaluación y optimización de innovaciones, asegurando que todas las dimensiones críticas de los sistemas complejos se consideren de manera coherente y cuantitativa. Al cuantificar la influencia de diferentes dominios, investigadores y profesionales

pueden identificar áreas prioritarias para intervención y predecir los resultados de posibles innovaciones bajo distintos escenarios.

A partir de esta representación formalizada, la metodología de desarrollo de innovaciones puede conceptualizarse visualmente mediante un diagrama de bloques. Este diagrama ilustra las etapas secuenciales e interdependientes del proceso de innovación, proporcionando un marco claro tanto para el análisis como para la implementación práctica.

Esta herramienta visual mejora la comprensión del flujo de trabajo, clarifica las relaciones entre las etapas metodológicas y apoya la planificación sistemática de intervenciones (Figura 1).

Orden actual de las etapas:

1. Datos de Entrada
 - Desempeño ambiental, social, económico y tecnológico
2. Etapa 1: Análisis de Sistemas
 - Identificación de relaciones estructurales
 - Identificación de puntos críticos
3. Etapa 2: Integración de Métodos
 - Gestión de Proyectos (PMBOK, Agile)
 - Plataformas interdisciplinarias
 - Modelación y Simulación
4. Etapa 3: Modelación de Escenarios
 - Escenarios alternativos de desarrollo
 - Gemelo Digital, previsión
5. Etapa 4: Evaluación de Riesgos
 - Análisis SWOT
 - Evaluación de oportunidades y amenazas
6. Resultados de Salida
 - Soluciones innovadoras listas
 - Recomendaciones para implementación práctica

Figura 1. Metodología de Desarrollo de Innovaciones en Sistemas Complejos

Fuente: elaboración del autor

Este enfoque integrado, que combina modelación matemática formalizada con etapas metodológicas estructuradas, proporciona un camino completo para el desarrollo, prueba e implementación sistemática de innovaciones en sistemas complejos y multidisciplinarios. Permite tanto una evaluación cuantitativa rigurosa como una orientación práctica para los responsables de la toma de decisiones, asegurando que las innovaciones se alineen efectivamente con objetivos técnicos, sociales, ambientales y tecnológicos.

Inteligencia Artificial y Big Data en Sistemas Complejos

Definición y Conceptos Clave

La Inteligencia Artificial (IA) es un campo de la informática centrado en la creación de sistemas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, tales como aprendizaje, reconocimiento de patrones, toma de decisiones y procesamiento del lenguaje natural. Sus subcampos principales incluyen aprendizaje automático, aprendizaje profundo, procesamiento del lenguaje natural y visión por computadora.

Big Data se refiere a la recopilación, procesamiento y análisis de volúmenes masivos de información estructurada y no estructurada, lo que permite identificar patrones, tendencias y relaciones que no son visibles mediante métodos tradicionales.

Rol de la IA y Big Data en Sistemas Complejos

La integración de la IA y el análisis de Big Data en sistemas complejos permite:

- Predicción y evaluación de efectos de innovación: modelación del comportamiento del sistema e identificación de posibles resultados de los cambios.
- Automatización de procesos de gestión y optimización de recursos: mejora de la eficiencia de los procesos, reducción de costos y aceleración de la toma de decisiones.
- Identificación de interconexiones ocultas entre componentes del sistema: análisis de dependencias estructurales y funcionales para mejorar la precisión de las predicciones.
- Soporte a la toma de decisiones basado en datos reales y modelos de aprendizaje automático: integración de algoritmos de IA en procesos de gestión estratégica y operativa.

La aplicación conjunta de IA y Big Data en el desarrollo de innovaciones acelera la toma de decisiones, reduce riesgos y garantiza la adaptabilidad de los sistemas complejos en entornos dinámicos.

Aplicación de la IA en Ucrania

En Ucrania, la IA se aplica en:

- Defensa y Seguridad: vehículos aéreos autónomos (UAV), sistemas de vigilancia y análisis de datos.
- Salud: diagnóstico, tratamiento personalizado y gestión de datos médicos.
- Energía: optimización de redes energéticas y previsión de demanda.
- Educación: sistemas de aprendizaje adaptativo y asistentes inteligentes.

Desafíos y Perspectivas

- Ética: garantizar transparencia y equidad algorítmica, evitando sesgos.
- Regulación: desarrollo de estándares nacionales e internacionales para el uso de IA.

- Infraestructura: necesidad de recursos computacionales y especialistas capacitados.

Entre las perspectivas destacan la integración con tecnologías IoT y 5G, el desarrollo de ciudades inteligentes, la Industria 4.0 y el apoyo a los procesos de innovación en sistemas complejos.

Aplicaciones Prácticas

Sector Energético

Las innovaciones en sistemas energéticos complejos se centran en la integración de fuentes de energía renovable con sistemas de almacenamiento y redes inteligentes. Este enfoque permite:

- Asegurar un suministro energético continuo;
- Optimizar el equilibrio entre producción y consumo;
- Reducir la dependencia de fuentes de energía tradicionales;
- Incrementar la resiliencia del sistema frente a choques externos y cambios impredecibles.

El uso de Big Data y algoritmos de Inteligencia Artificial (IA) posibilita la predicción de picos de consumo, la gestión de la distribución energética en tiempo real y la mejora de la eficiencia global del sistema. La integración de estas tecnologías refleja un enfoque interdisciplinario, combinando soluciones de ingeniería, tecnologías de la información y planificación económica para crear sistemas adaptativos y de alto rendimiento.

Defensa

En los sistemas militares, las innovaciones buscan principalmente aumentar la resiliencia, protección y eficiencia operativa de los activos críticos. Las tecnologías de defensa modernas abarcan múltiples dominios interconectados, integrando ingeniería, informática, ciencia de materiales y sistemas avanzados de gestión. Entre las innovaciones clave se incluyen:

- Camuflaje térmico: desarrollo y aplicación de materiales y recubrimientos especializados que reducen las emisiones infrarrojas, disminuyendo la visibilidad de los objetos frente a drones y sistemas de imágenes térmicas. Estos materiales a menudo utilizan propiedades adaptativas o inspiradas en la naturaleza, respondiendo dinámicamente a cambios ambientales y mejorando la supervivencia bajo diversas condiciones operativas.
- Sistemas anti-drones: conjuntos integrales de soluciones de hardware y software diseñados para detectar, rastrear y neutralizar vehículos aéreos no tripulados (UAV) en zonas críticas. Estos sistemas emplean radares, sensores de radiofrecuencia, algoritmos de aprendizaje automático e interfaces de control automatizado para proporcionar evaluación y respuesta ante amenazas en tiempo real.

- Ciberseguridad: integración de tecnologías de redes e información para proteger datos sensibles y garantizar el control confiable de sistemas de defensa complejos. Las innovaciones incluyen métodos avanzados de cifrado, detección de anomalías y modelación predictiva de amenazas para prevenir accesos no autorizados y mantener la continuidad operativa.

La adopción de enfoques multidisciplinarios en la innovación de defensa demuestra importantes beneficios estratégicos, operativos y tecnológicos. Al integrar principios de ingeniería, TIC, ciencia de materiales y control de sistemas, las organizaciones de defensa logran una mayor conciencia situacional, eficiencia operativa y resiliencia frente a amenazas convencionales y emergentes. La convergencia de estas disciplinas facilita soluciones técnicamente sofisticadas, contextualmente adaptables y capaces de responder a la naturaleza dinámica y compleja de los entornos militares contemporáneos.

Además, la incorporación de IA y análisis de Big Data en los sistemas de defensa amplía considerablemente sus capacidades, permitiendo: modelación predictiva, evaluación de amenazas en tiempo real, optimización de recursos y estrategias de respuesta adaptativas. Esto dota a los responsables de la toma de decisiones de herramientas analíticas robustas que permiten intervenciones informadas, oportunas y efectivas en contextos operativos de alto riesgo.

Desde esta perspectiva integrada, la estructura y las interacciones de estas innovaciones multidisciplinarias pueden representarse visualmente mediante un diagrama de bloques, que ilustra los componentes interdependientes y jerárquicos de los sistemas de defensa modernos, proporcionando un marco claro para el análisis y la implementación práctica (Figura 2).

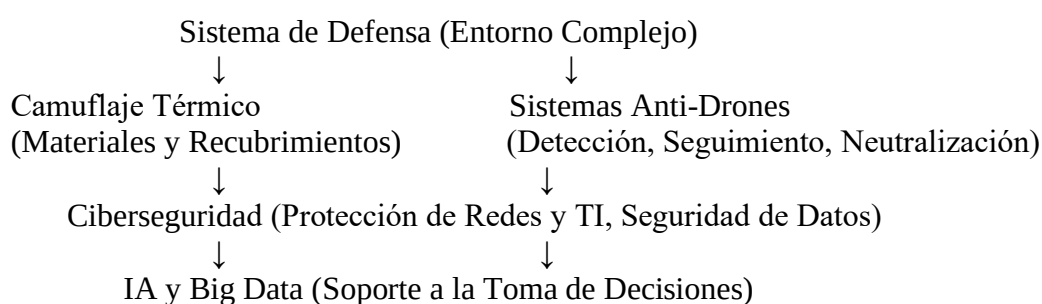


Figura 2. Innovaciones Multidisciplinarias en Sistemas de Defensa

Fuente: elaboración del autor

Descripción:

- Camuflaje Térmico: materiales y recubrimientos especializados reducen la firma infrarroja de los objetos, haciéndolos menos detectables por drones y sistemas de imágenes térmicas, mejorando las capacidades de sigilo en teatros operativos.

- Sistemas Anti-Drones: conjunto integrado de herramientas de hardware y software para detectar, rastrear y neutralizar UAV en áreas sensibles, mitigando amenazas a personal e infraestructura.
- Ciberseguridad: protección integral de sistemas conectados y datos sensibles, asegurando comunicación segura, continuidad operativa e integridad de los procesos de mando y control.
- IA y Big Data: algoritmos avanzados analizan grandes conjuntos de datos de múltiples fuentes, proporcionando información predictiva, apoyo a la toma de decisiones en tiempo real y estrategias de respuesta adaptativas frente a amenazas en evolución.

Este diagrama de bloques integrado demuestra cómo las innovaciones multidisciplinarias operan de manera sinérgica, produciendo un sistema de defensa por capas que mejora la conciencia situacional, la eficiencia operativa y la resiliencia frente a amenazas convencionales y emergentes. La representación enfatiza la importancia crítica de combinar dimensiones técnicas, informativas y analíticas para establecer una estrategia de defensa coherente y robusta.

Ecología Urbana

Los enfoques innovadores en ecología urbana se orientan principalmente a aumentar la resiliencia de las ciudades y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Estos enfoques se caracterizan por la integración de soluciones técnicas, ambientales y sociales, reflejando una estrategia multidisciplinaria que combina conocimientos de ecología, ingeniería, planificación urbana y tecnologías de la información.

Principales líneas de aplicación:

- Gestión de Residuos: La gestión moderna de residuos urbanos implica la integración de sistemas avanzados para separación en origen, reciclaje y producción de bioenergía. Mediante la implementación de procesos de circuito cerrado, las ciudades pueden reducir significativamente la carga sobre los vertederos y, al mismo tiempo, generar recursos adicionales, como biogás o biocombustibles, a partir de residuos orgánicos. La aplicación de tecnologías inteligentes, incluyendo sensores, análisis de datos y sistemas automatizados de clasificación, optimiza la eficiencia operativa, minimiza la contaminación ambiental y contribuye a la economía circular.
- Mitigación de Islas de Calor Urbanas: Las zonas urbanas suelen tener temperaturas elevadas por la concentración de infraestructura construida, fenómeno conocido como “efecto isla de calor urbano”. Las soluciones para reducir el estrés térmico incluyen techos y fachadas verdes, superficies reflectantes y de alto albedo, así como corredores vegetales y diseño urbano sensible al agua. Estas estrategias no solo disminuyen la temperatura, sino que

mejoran la calidad del aire, promueven la biodiversidad y fomentan el bienestar social, creando microclimas más confortables para los residentes.

- **Bioenergía y Uso de Recursos Renovables:** La producción de bioenergía a partir de residuos orgánicos y biomasa vegetal constituye un componente crítico para el desarrollo urbano sostenible. Mediante la conversión controlada de materiales orgánicos en biogás, biocombustibles u otras formas de energía, las ciudades pueden reducir la dependencia de fuentes fósiles tradicionales, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la autosuficiencia energética. Integrar la producción de bioenergía en la planificación urbana requiere coordinación interdisciplinaria, abarcando ingeniería de residuos, procesos químicos y biológicos, y gestión energética en tiempo real mediante tecnologías de la información.

En conjunto, estas direcciones innovadoras en ecología urbana muestran cómo los sistemas complejos se benefician de un enfoque multidisciplinario, combinando ingeniería ambiental, planificación urbana y soluciones tecnológicas. La implementación de estas estrategias permite a las ciudades mejorar la sostenibilidad y crear espacios urbanos adaptativos, resilientes y habitables, capaces de responder a los cambios climáticos, sociales y tecnológicos.

Inclusión y Accesibilidad

Las innovaciones en sistemas complejos desempeñan un papel crítico en la promoción de la inclusión y la accesibilidad, asegurando que las infraestructuras urbanas, educativas y sociales respondan a las diversas necesidades de todas las personas, incluidas aquellas con discapacidad. Los enfoques modernos de inclusión son inherentemente multidisciplinarios, combinando conocimientos de ingeniería, tecnologías de la información, ciencias sociales y educación para crear sistemas adaptativos, resilientes y accesibles.

Áreas clave de implementación práctica:

- **Entornos Físicos y Digitales Accesibles:** El diseño y la implementación de espacios públicos y servicios digitales inclusivos son esenciales para que las personas con distintas capacidades participen plenamente en actividades sociales, educativas y económicas. Esto requiere la integración de principios de diseño universal, tecnologías de asistencia e infraestructura inteligente que apoye la movilidad, la navegación y el acceso independiente.
- **Plataformas Educativas Adaptativas:** Las innovaciones tecnológicas permiten el desarrollo de sistemas de aprendizaje personalizados y adaptativos que consideran las necesidades individuales, estilos de aprendizaje y capacidades cognitivas. Estas plataformas emplean analítica avanzada, algoritmos de aprendizaje automático e interfaces interactivas para ofrecer contenidos educativos adaptados, monitorear el progreso y proporcionar retroalimentación

oportuna, mejorando así los resultados de aprendizaje de estudiantes con habilidades diversas.

- **Monitoreo y Apoyo a la Movilidad e Integración Social:** La integración de tecnologías basadas en sensores, redes de comunicación y sistemas de información permite el monitoreo continuo de los patrones de movilidad, la salud y la participación social de personas con discapacidad. Estas soluciones facilitan la detección temprana de posibles desafíos, apoyan la vida independiente y fortalecen la participación social. Asimismo, permiten a los responsables de políticas públicas y urbanistas tomar decisiones basadas en datos que optimicen la accesibilidad y la inclusividad a nivel sistémico.

La implementación práctica de estas innovaciones demuestra el potencial de un enfoque multidisciplinario para abordar desafíos sociales complejos. Al combinar consideraciones técnicas, sociales y ambientales, estas soluciones integradas mejoran la eficiencia, seguridad y resiliencia de los sistemas complejos, al tiempo que promueven el acceso equitativo y fomentan entornos urbanos y educativos inclusivos. Estos enfoques no solo mejoran la calidad de vida de los individuos, sino que también contribuyen al desarrollo de sistemas sostenibles, adaptativos y socialmente responsables en entornos en constante cambio.

Desafíos y Perspectivas

Riesgos de Fragmentación del Conocimiento sin Integración

Uno de los principales desafíos en el desarrollo e implementación de innovaciones dentro de sistemas complejos es la fragmentación del conocimiento entre distintas disciplinas y sectores. En ausencia de mecanismos efectivos de integración, dicha fragmentación puede generar duplicación de esfuerzos, subutilización de la experiencia disponible y la aparición de soluciones subóptimas o erróneas. Este problema es particularmente agudo en sistemas caracterizados por alta complejidad, donde las interacciones entre componentes son indirectas, no lineales y a menudo dinámicas, de modo que errores o ineficiencias en un nivel pueden propagarse y producir efectos en cascada a lo largo del sistema.

Las consecuencias de la fragmentación del conocimiento van más allá de la simple ineficiencia. Pueden impedir la identificación de interdependencias críticas, reducir la capacidad adaptativa del sistema y limitar el potencial de innovaciones disruptivas. En entornos multidisciplinarios, los esfuerzos de investigación y desarrollo no coordinados pueden generar metodologías conflictivas, tecnologías incompatibles y vacíos en la recolección de datos y en los marcos analíticos, comprometiendo la capacidad de los responsables de la toma de decisiones de obtener una comprensión holística del sistema y aumentando los riesgos asociados a la planificación estratégica, la gestión operativa y la formulación de políticas.

Abordar estos riesgos requiere enfoques estructurados de integración del conocimiento, incluyendo la colaboración interdisciplinaria, plataformas compartidas para el intercambio de datos y conocimientos, y la adopción de marcos de pensamiento sistémico. Herramientas como ontologías, entornos de modelación integrados y metodologías de gestión de proyectos colaborativos permiten sintetizar la experiencia diversa y crear estrategias coherentes para la innovación. Además, la integración de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial y el análisis de Big Data, puede mejorar la coordinación de los flujos de conocimiento y apoyar la toma de decisiones en tiempo real, reduciendo la fragmentación y aumentando la resiliencia, adaptabilidad y eficacia general de los sistemas complejos.

El desarrollo de estrategias efectivas para mitigar la fragmentación del conocimiento representa tanto un desafío significativo como una oportunidad clave para aumentar la capacidad de los sistemas complejos de innovar de manera sostenible. Fomentando la integración interdisciplinaria, las organizaciones y comunidades pueden asegurar que las innovaciones sean no solo técnicamente sólidas, sino también socialmente relevantes, ambientalmente sostenibles y capaces de adaptarse a contextos cambiantes y perturbaciones imprevistas.

El Desafío de Armonizar Normas Regulatorias y Técnicas

Otro desafío importante en el avance de innovaciones dentro de sistemas complejos es la armonización de marcos regulatorios y normas técnicas a través de sectores diversos. Diferentes industrias operan frecuentemente bajo normas técnicas, regulaciones de seguridad y protocolos de cumplimiento propios, que pueden ser inconsistentes, conflictivos o incluso mutuamente excluyentes. Estas disparidades presentan obstáculos sustanciales para la integración de soluciones innovadoras, especialmente cuando los sistemas complejos requieren colaboración entre agencias gubernamentales, empresas comerciales y organizaciones de la sociedad civil.

La falta de armonización estándar puede impedir la interoperabilidad, aumentar el riesgo de errores y reducir la eficiencia general de las operaciones del sistema. Por ejemplo, cuando las especificaciones técnicas difieren entre componentes o subsistemas, la integración puede volverse costosa, lenta y propensa al fallo. Además, las inconsistencias regulatorias pueden dificultar la adopción de nuevas tecnologías, ya que los requisitos legales y las certificaciones de seguridad varían entre sectores y jurisdicciones. Estos desafíos se amplifican en sistemas con alta interconexión e interacciones dinámicas, donde el incumplimiento de un estándar por un componente puede generar ineficiencias sistémicas o fallos críticos.

Abordar este problema requiere un enfoque coordinado que abarque la alineación de normas técnicas, el desarrollo de marcos regulatorios intersectoriales y la implementación de modelos de gobernanza adaptativos. Mecanismos como grupos de trabajo interinstitucionales, adopción de estándares internacionales y

procesos de certificación colaborativos facilitan la reconciliación de requisitos divergentes y promueven la coherencia entre los componentes del sistema. Además, la integración de plataformas digitales para monitoreo en tiempo real, verificación de cumplimiento y apoyo a la estandarización puede mejorar la transparencia, reducir conflictos y permitir una implementación de innovaciones más ágil.

La armonización de normas técnicas y regulatorias no es únicamente una necesidad procedimental; constituye un factor estratégico clave para la implementación exitosa de innovaciones interdisciplinarias. Al garantizar compatibilidad, seguridad y eficiencia operativa en sistemas complejos, las normas armonizadas aumentan la capacidad de las organizaciones para innovar de manera sostenible, minimizando riesgos asociados con incompatibilidades técnicas, incumplimientos regulatorios y rendimiento fragmentado del sistema. En el contexto de condiciones tecnológicas, sociales y ambientales que evolucionan rápidamente, esta alineación se convierte en una piedra angular para el desarrollo de sistemas resilientes, adaptativos e integrados.

La Necesidad de Nuevas Formas de Asociaciones Transsectoriales

La implementación exitosa de innovaciones en sistemas complejos depende cada vez más de la colaboración proactiva y estratégica entre múltiples sectores, incluidos las instituciones públicas, las empresas privadas, las organizaciones académicas y de investigación, y las entidades de la sociedad civil. Tales asociaciones transsectoriales son esenciales para consolidar recursos, integrar competencias diversas y aprovechar la experiencia colectiva. Al combinar conocimientos y capacidades de distintos dominios, estas colaboraciones potencian la escalabilidad, sostenibilidad y efectividad de las soluciones innovadoras.

Las formas emergentes de colaboración transsectorial incluyen plataformas de investigación conjuntas, centros de innovación, redes colaborativas y coaliciones de múltiples partes interesadas que facilitan el intercambio de conocimientos y la resolución coordinada de problemas. Por ejemplo, las plataformas de investigación ofrecen infraestructura compartida, herramientas computacionales y recursos de datos que permiten a equipos interdisciplinarios desarrollar y probar innovaciones con mayor eficiencia. Los centros de innovación funcionan como catalizadores de la experimentación, apoyando startups, proyectos piloto y actividades de transferencia tecnológica que acercan la investigación a la práctica. Las coaliciones de múltiples partes interesadas promueven la alineación entre marcos regulatorios, estándares técnicos y necesidades sociales, garantizando que las innovaciones sean técnicas y socialmente sólidas.

La necesidad de estas asociaciones es especialmente crítica en sistemas complejos donde los desafíos son multifacéticos e interdependientes. Por ejemplo, en proyectos de sostenibilidad urbana, la colaboración entre autoridades

municipales, proveedores de energía, universidades y organizaciones no gubernamentales puede acelerar la implementación de infraestructura inteligente, soluciones de energía renovable y tecnologías inclusivas. De manera similar, en los sistemas de salud, las asociaciones entre instituciones médicas, empresas tecnológicas y laboratorios de investigación facilitan la integración de herramientas de salud digital, plataformas de telemedicina y modelos de atención adaptativa que responden eficazmente a las diversas necesidades de los pacientes.

Más allá de la eficiencia operativa, las asociaciones transsectoriales fomentan la resiliencia y adaptabilidad en sistemas complejos. Al habilitar ciclos de retroalimentación continua, intercambio de datos en tiempo real y toma de decisiones conjunta, estas colaboraciones mitigan riesgos asociados con la incertidumbre, limitaciones de recursos y interrupciones tecnológicas. Además, promueven la difusión de la innovación entre sectores, asegurando que las mejores prácticas y soluciones exitosas se repliquen y adapten a nuevos contextos.

En conclusión, el desarrollo de nuevas formas de asociaciones transsectoriales no es solo una medida de apoyo, sino un imperativo estratégico para el avance de innovaciones interdisciplinarias. Al integrar recursos, conocimientos y experiencia más allá de los límites institucionales, estas asociaciones fortalecen la capacidad de los sistemas para enfrentar desafíos ambientales, sociales y tecnológicos, promoviendo un desarrollo sostenible e inclusivo.

Perspectivas para el Desarrollo de Plataformas Universales para Innovaciones Multidisciplinarias

Una de las principales perspectivas para el avance de innovaciones en sistemas complejos es el desarrollo de plataformas integradoras universales que faciliten la interacción entre especialistas de diversas disciplinas, habiliten el análisis automatizado de datos y respalden la gestión de los procesos de implementación de la innovación. Estas plataformas funcionan como infraestructuras colaborativas que integran herramientas tecnológicas, analíticas y organizativas, proporcionando un entorno unificado para la resolución interdisciplinaria de problemas.

Tales plataformas universales pueden incluir varios componentes críticos:

- Centros digitales de colaboración: entornos virtuales que facilitan la comunicación y el intercambio de conocimientos entre expertos, fomentando la co-creación y el desarrollo de proyectos interdisciplinarios.
- Herramientas de análisis de big data y modelado de escenarios – módulos computacionales que procesan grandes volúmenes de datos, simulan resultados potenciales y evalúan impactos sistémicos de las innovaciones propuestas.
- Sistemas de toma de decisiones adaptativos basados en inteligencia artificial (IA) – herramientas impulsadas por IA que optimizan procesos, predicen riesgos y

proporcionan recomendaciones estratégicas, mejorando la precisión y rapidez de la toma de decisiones en entornos dinámicos.

- Módulos de integración estandarizados: componentes interoperables que armonizan diversas tecnologías y metodologías, reduciendo barreras técnicas y asegurando una implementación coherente en múltiples sistemas.

El establecimiento de estas plataformas aborda uno de los principales desafíos de la innovación en sistemas complejos: la fragmentación del conocimiento. Al proporcionar un marco compartido para la colaboración interdisciplinaria, estas plataformas reducen redundancias, optimizan la utilización de recursos intelectuales y facilitan la traducción de hallazgos de investigación en soluciones prácticas. Además, potencian la escalabilidad y adaptabilidad de las innovaciones, permitiendo su rápida implementación en contextos diversos, desde infraestructura urbana y sistemas energéticos hasta redes de salud y gestión ambiental.

Asimismo, las plataformas universales generan oportunidades para el aprendizaje continuo y la mejora iterativa. Al integrar monitoreo en tiempo real, mecanismos de retroalimentación y análisis asistido por IA, estas plataformas permiten a las organizaciones refinar estrategias de innovación dinámicamente, responder a desafíos emergentes y optimizar el desempeño sistémico. También promueven la transparencia y reproducibilidad, asegurando que las prácticas innovadoras puedan evaluarse, replicarse y adaptarse entre sectores.

En conclusión, el desarrollo de plataformas universales para innovaciones multidisciplinarias representa un enfoque transformador para la gestión de la complejidad en los sistemas modernos. Al combinar integración tecnológica, toma de decisiones basada en datos y colaboración interdisciplinaria, estas plataformas incrementan la efectividad, resiliencia y sostenibilidad de los sistemas complejos, allanando el camino hacia una innovación acelerada y un impacto social amplio.

Conclusión

El estudio confirma que las innovaciones en sistemas complejos alcanzan su máxima efectividad mediante un enfoque multidisciplinario. La integración de conocimientos, metodologías y tecnologías de diversos campos potencia la adaptabilidad, la resiliencia y el desempeño general del sistema.

Principales hallazgos:

- Patrones sistémicos comunes: A pesar de la diversidad de dominios—técnico, social, ecológico, de defensa y médico—los sistemas complejos comparten principios universales que impulsan la innovación. Reconocer estos patrones facilita la transferencia de buenas prácticas y estrategias eficientes entre sectores.
- Sinergia mediante la integración: La colaboración interdisciplinaria une ingeniería, tecnologías de la información, biología y ciencias sociales,

mejorando la precisión predictiva, la eficiencia y la capacidad de respuesta ante necesidades humanas y ambientales.

- Herramientas metodológicas: El análisis de sistemas, la gestión de proyectos, las plataformas colaborativas y el análisis de big data permiten una integración sistemática de la innovación, el monitoreo de impactos y la gestión adaptativa.
- Ámbitos de aplicación: Las innovaciones multidisciplinarias benefician sistemas energéticos, tecnologías de defensa, ecología urbana y entornos inclusivos.

Desafíos persistentes en armonizar estándares, reducir la fragmentación del conocimiento y fomentar asociaciones transsectoriales. Abordar estos aspectos asegura procesos de innovación coherentes, escalables y sostenibles.

En síntesis, el enfoque multidisciplinario ofrece un marco para integrar dimensiones técnicas, sociales y ecológicas de los sistemas complejos, reforzando la resiliencia, la eficiencia y la sostenibilidad en múltiples dominios.

Referencias

1. Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Reading, MA: Addison-Wesley.
2. Helbing, D. (2013). Globally networked risks and how to respond. *Nature*, 497, 51–59.
3. Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467–482.
4. Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing.
5. Havryliuk, V. M. (2020). System analysis in the context of complex socio-economic processes. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Economics*, 4(217), 11–18.
6. Carayannis, E. G., Campbell, D. F. J., & Rehman, S. S. (2021). Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems. Springer.
7. Zhang, H., Li, Y., & Wang, Z. (2023). Complex adaptive systems in defense innovation. *Defence Technology*, 19(3), 342–355.
8. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2021). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 28, 24–30.
9. Melnyk, V., Shevchenko, R., & Bondarenko, L. (2020). Urban heat islands: Mitigation strategies and climate adaptation. *Environmental Research Letters*, 15(11), 1–15.
10. Tymoshenko, V. (2022). Digital accessibility for people with disabilities: Methods and technologies. *Journal of Social Innovations*, 14(1), 55–72.

[FR_6]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Innovations multidisciplinaires dans les systèmes complexes

Résumé

Cet article analyse les innovations au sein des systèmes complexes selon une approche multidisciplinaire. Le concept de « système complexe » et sa classification (technique, sociale, écologique, militaire, médicale) sont examinés, ainsi que l'interconnexion entre l'innovation et la synergie des connaissances issues de différents domaines. Les approches méthodologiques du développement de l'innovation dans les systèmes complexes sont présentées, incluant l'analyse systémique, la gestion de projet, et l'intégration de l'intelligence artificielle et du big data. Des applications pratiques dans les domaines de l'énergie, de la défense, de l'écologie urbaine et de l'inclusion sont passées en revue. Les défis et les perspectives des innovations multidisciplinaires, tels que la fragmentation des connaissances, la standardisation et les partenariats intersectoriels, sont également discutés. L'article apporte une contribution à la fois théorique et pratique pour les chercheurs, les concepteurs technologiques et les gestionnaires de systèmes complexes [1, 2].

Mots-clés: innovation des systèmes complexes, approche multidisciplinaire, systèmes complexes, analyse systémique, intelligence artificielle, big data, écologie urbaine, technologies de défense, inclusion

Introduction

Les systèmes complexes contemporains se caractérisent par un haut degré d'intégration de leurs composants et une forte interdépendance entre les sous-systèmes techniques, sociaux, écologiques et organisationnels. Les innovations au sein de ces systèmes jouent un rôle crucial, car elles améliorent non seulement leur efficacité, mais garantissent également leur résilience et leur capacité d'adaptation face à des conditions changeantes [1, 3].

La complexité croissante des objets modernes d'étude et de gestion exige l'adoption d'une approche multidisciplinaire intégrant des connaissances issues de

domaines variés tels que l'ingénierie, les technologies de l'information, la biologie, la sociologie et le management [2, 4]. Cette approche favorise une synergie des compétences, accélère la mise en œuvre des innovations et permet une évaluation globale des performances des systèmes. En mobilisant les perspectives interdisciplinaires, les acteurs peuvent anticiper les risques systémiques, optimiser l'allocation des ressources et renforcer l'efficacité globale.

L'objectif de cette étude est d'examiner les innovations dans les systèmes complexes à travers une approche multidisciplinaire, de définir les fondements méthodologiques de leur développement et d'identifier les domaines d'application pratique. Les objectifs spécifiques de l'article incluent :

- l'analyse des fondements théoriques et de la classification des systèmes complexes ;
- l'examen des méthodologies de développement de l'innovation dans les systèmes complexes ;
- la revue des applications pratiques dans divers secteurs ;
- l'identification des principaux défis et perspectives futures des innovations multidisciplinaires.

Ce travail apporte une nouveauté scientifique en proposant une vision intégrée des processus d'innovation au sein des systèmes complexes, en soulignant l'importance de l'intégration interdisciplinaire comme moteur d'efficacité. Sa valeur pratique réside dans l'orientation du développement technologique dans les domaines de l'énergie, de la défense, de l'écologie urbaine et des solutions inclusives, offrant ainsi un cadre de référence aux chercheurs, praticiens et gestionnaires de systèmes.

Bloc théorique

Concept de systèmes complexes

Un système complexe peut être défini comme un ensemble organisé d'éléments interconnectés, capable de fonctionner comme une structure cohérente et adaptative tout en répondant aux changements continus de l'environnement externe. Ces systèmes se distinguent par un haut degré d'interdépendance entre leurs composants: une modification d'un seul élément peut se propager à travers le réseau et influencer d'autres éléments, de manière directe ou indirecte.

Les systèmes complexes présentent également un comportement non linéaire, dans lequel la relation entre les entrées et les sorties n'est pas proportionnelle ; de petites variations peuvent engendrer des effets disproportionnés ou inattendus. Une autre caractéristique essentielle de ces systèmes est leur capacité d'autorégulation et de comportement émergent, leur permettant de maintenir la stabilité, de réorganiser leur structure interne et d'optimiser leurs performances sous diverses pressions extérieures.

La compréhension des systèmes complexes exige une perspective multidisciplinaire intégrant des connaissances issues de l'ingénierie, des technologies de l'information, de la biologie, des sciences sociales et du management. Cette approche permet de saisir à la fois les interactions micro-niveau entre les composants individuels et les schémas macro-niveau émergents de ces interactions. Une telle vision holistique facilite l'identification des nœuds critiques, des vulnérabilités potentielles et des opportunités d'innovation, permettant la conception, la mise en œuvre et le développement durable de systèmes complexes.

Dans la recherche contemporaine, les systèmes complexes sont généralement classés selon leurs caractéristiques fonctionnelles et structurelles. Cette classification offre un cadre conceptuel pour comprendre la diversité des systèmes complexes et met en évidence les principes généraux qui sous-tendent leur développement, leur adaptation et l'intégration de solutions innovantes à travers différents domaines (voir Tableau 1).

Tableau 1. Classification des systèmes complexes

Type de système complexe	Exemples	Caractéristiques principales
Systèmes techniques	Complexes industriels, réseaux de transport et d'énergie, chaînes de production automatisées	Degré élevé d'intégration technologique, dépendance à l'infrastructure physique, évolutivité
Systèmes sociaux	Organisations, communautés, réseaux économiques et éducatifs	Interactions centrées sur l'humain, normes sociales, structures organisationnelles
Systèmes environnementaux	Paysages naturels, écosystèmes urbains, complexes bioénergétiques	Dépendance à l'équilibre écologique, considération de durabilité
Systèmes médicaux	Services de santé, centres de rééducation, systèmes de télésurveillance des patients	Intégration de composantes cliniques, technologiques et organisationnelles

Source : Compilation de l'auteur

Cette classification illustre que, bien que chaque type de système complexe possède des caractéristiques structurelles et fonctionnelles spécifiques, les schémas généraux de développement, de mise en œuvre de l'innovation et de gestion adaptative demeurent similaires. Cela rend possible l'application d'une approche multidisciplinaire à leur étude et à leur mise en pratique [5].

Ainsi, malgré leur diversité, les systèmes complexes partagent des principes universels de développement et d'innovation. Cette universalité permet d'appliquer une approche multidisciplinaire combinant l'expertise en ingénierie, technologies de l'information, biologie, sociologie et gestion afin d'accroître leur efficacité et leur résilience.

Caractéristiques clés des systèmes complexes :

- Interdépendance : les composants s'influencent mutuellement ; de petites modifications peuvent se propager à l'ensemble du système.
- Non-linéarité : les résultats ne sont pas proportionnels aux entrées, exigeant des stratégies adaptatives.
- Autorégulation : des mécanismes internes maintiennent la stabilité face aux perturbations externes.
- Adaptabilité : capacité à répondre aux changements environnementaux et aux conditions évolutives.

La compréhension et la classification des systèmes complexes constituent une base essentielle pour la conception et le développement d'innovations efficaces, permettant aux chercheurs et aux praticiens d'intervenir sur les points critiques et d'assurer une intégration optimale entre différents types de systèmes.

Relation entre innovation et multidisciplinarité

L'innovation dans les systèmes complexes dépasse généralement les frontières d'une seule discipline. La mise en œuvre efficace de nouvelles technologies, de méthodes de gestion ou de solutions organisationnelles exige l'intégration de connaissances et de compétences issues de différents domaines, ce qui renforce l'adaptabilité des systèmes face à des conditions environnementales dynamiques.

Une approche multidisciplinaire permet de :

- améliorer la précision de la prévision des conséquences de l'innovation ;
- réaliser une évaluation globale des risques et des bénéfices à long terme ;
- accélérer l'adaptation des systèmes à des facteurs imprévisibles, notamment en période de crise ou de conflit ;
- créer des synergies de connaissances qui renforcent le potentiel intellectuel des chercheurs, des concepteurs et des gestionnaires [6].

Selon le domaine d'application, la multidisciplinarité prend différentes formes :

- dans les systèmes techniques, l'intégration de solutions d'ingénierie et numériques améliore l'efficacité et la résilience ;
- dans les systèmes sociaux, la combinaison des sciences du management et de la communication engendre de nouveaux modèles d'interaction communautaire et organisationnelle ;
- dans les systèmes écologiques, la collaboration entre les sciences environnementales et économiques assure un équilibre entre l'efficacité et la conservation des ressources ;
- dans les systèmes militaires, la synergie des technologies de surveillance, de camouflage et de commandement garantit une protection multi-niveaux [7] ;
- dans les systèmes médicaux, l'intégration des pratiques cliniques, des plateformes numériques et des solutions bio-ingénieriques améliore la qualité des soins et la surveillance des patients.

Synergie des connaissances entre disciplines : ingénierie + technologies de l'information + biologie + sociologie

La synergie des connaissances dans un contexte multidisciplinaire désigne la combinaison de méthodes et d'approches issues de différents domaines scientifiques afin d'obtenir des résultats impossibles à atteindre dans le cadre d'une discipline unique. Cette intégration génère une valeur intellectuelle nouvelle, accélère les processus d'innovation et soutient la résilience des systèmes complexes.

Par exemple :

- L'ingénierie fournit les fondations nécessaires à la conception de solutions physiques et techniques, allant des infrastructures aux matériaux avancés.
- Les technologies de l'information (TI) permettent l'automatisation, la simulation et l'analyse de données massives, assurant la précision et la scalabilité [8].
- La biologie apporte une compréhension des mécanismes adaptatifs, des solutions biomimétiques et de l'efficacité énergétique, inspirant des innovations durables.
- La sociologie aide à comprendre les aspects comportementaux et organisationnels de l'interaction humaine avec les systèmes, favorisant l'inclusivité et la durabilité sociale [9].

L'intégration de ces domaines disciplinaires établit une base solide pour l'innovation, permettant aux systèmes complexes de répondre simultanément aux exigences d'efficacité technique, d'adaptation environnementale et de pertinence sociale. En combinant connaissances et méthodologies multiples, il devient possible de concevoir des solutions à la fois fonctionnellement efficaces et résilientes face aux changements et aux défis imprévisibles. Cette synergie interdisciplinaire garantit la durabilité, la flexibilité opérationnelle et la productivité des systèmes complexes dans un contexte de transformations technologiques rapides et de besoins sociétaux en évolution [5].

De plus, l'intégration des méthodologies issues de l'ingénierie, de l'informatique, de la biologie et de la sociologie favorise une approche globale fondée sur la complémentarité des expertises. Les équipes multidisciplinaires peuvent ainsi aborder les problèmes sous des angles complémentaires, révélant des leviers d'action invisibles dans les études mono-disciplinaires. Cette approche multi-dimensionnelle permet d'anticiper les comportements émergents, d'optimiser la performance des systèmes et de générer des solutions à la fois évolutives et sensibles au contexte.

La convergence croissante entre ces disciplines souligne l'importance de méthodologies coordonnées, où chaque champ contribue avec ses outils analytiques, ses perspectives théoriques et ses techniques appliquées spécifiques. Cette intégration favorise non seulement l'innovation au niveau systémique, mais aussi la traduction des connaissances scientifiques en résultats pratiques et socialement

bénéfiques. Cette synthèse est particulièrement cruciale dans la transition vers des paradigmes technologiques durables et centrés sur l'humain (Tableau 2).

Tableau 2. Contribution des disciplines à l'innovation dans les systèmes complexes

Discipline	Contribution principale à l'innovation	Exemple d'application
Ingénierie	Développement de solutions physiques et techniques	Stockage d'énergie renouvelable, robotique
Technologies de l'information (TI)	Automatisation des processus, simulation, analyse de données massives	Villes intelligentes, systèmes cyber-physiques
Biologie	Approches biomimétiques, efficacité énergétique, adaptabilité	Matériaux bio-inspirés, technologies vertes
Sociologie	Aspects comportementaux et organisationnels, inclusivité	Gouvernance participative, e-santé

Source : Compilation de l'auteur

Bloc méthodologique

Approches du développement de l'innovation dans les systèmes complexes

Le développement des innovations au sein des systèmes complexes requiert une approche systémique et multi-niveaux, prenant en compte à la fois les caractéristiques internes du système et les influences externes. Les principales stratégies méthodologiques comprennent :

- Approche systémique – considérer le système comme une entité holistique tenant compte de l'interaction entre tous ses composants. Cette perspective permet d'identifier les points critiques, de prévoir les comportements à long terme et de modéliser les conséquences de la mise en œuvre des innovations.
- Approche évolutive – amélioration progressive du système par l'intégration de changements innovants contrôlés. Ce processus par étapes réduit les risques, facilite l'évaluation intermédiaire et renforce la fiabilité du système.
- Approche adaptative – réaction flexible aux facteurs externes, qu'ils soient technologiques, sociaux, écologiques ou sécuritaires. Elle permet la correction rapide des décisions et l'intégration d'outils nouveaux dans des conditions d'incertitude.
- Approche fondée sur les scénarios – utilisation de modèles prédictifs et de scénarios alternatifs de développement. Cette méthode aide à tester différentes trajectoires d'évolution et à déterminer la stratégie optimale d'action.

Méthodes d'intégration

L'intégration des connaissances et des solutions issues de diverses disciplines constitue un facteur clé de réussite dans les innovations multidisciplinaires. Les principales méthodes comprennent :

- Analyse systémique – évaluation de la structure, des fonctions et des liens entre les composants du système. Elle permet d'identifier les zones à fort impact pour introduire des innovations et de prévoir leurs effets systémiques.

- Gestion de projet – planification, organisation, suivi et contrôle de la mise en œuvre des projets d'innovation, assurant la coordination entre les acteurs et la cohérence des étapes.
- Plateformes interdisciplinaires – environnements numériques et organisationnels favorisant la collaboration entre spécialistes de différents domaines, le partage rapide de connaissances, la modélisation collective et l'expérimentation accélérée de solutions innovantes.
- Modélisation et simulation – utilisation de jumeaux numériques, de modèles mathématiques et informatiques pour tester des solutions dans un environnement virtuel avant leur déploiement réel.
- Analyse SWOT et analyse des risques – évaluation structurée des forces, faiblesses, opportunités et menaces, permettant de prévoir les résultats des innovations et d'atténuer les effets négatifs potentiels.

Ces approches méthodologiques offrent un cadre intégré pour la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des innovations dans les systèmes complexes. En combinant modélisation systémique, gestion de projet, outils numériques et plateformes collaboratives, elles renforcent la capacité d'adaptation, la durabilité et la résilience des systèmes face aux défis technologiques, sociaux et environnementaux contemporains.

Modèle formalisé

Le processus d'innovation dans les systèmes complexes peut être formalisé afin de refléter sa nature intrinsèquement multidisciplinaire, en capturant les interdépendances entre les facteurs environnementaux, sociaux, économiques et technologiques. Une représentation mathématique permet une analyse systématique et une quantification de l'influence de chaque facteur sur le niveau global d'innovation du système. La relation peut être exprimée comme suit (Formule 1) :

$$I = \alpha E^{\beta} S o^{\gamma} E c^{\delta} T^{\epsilon} \quad (1)$$

Où :

I - niveau d'innovation du système ;

E - facteurs techniques et d'ingénierie ;

So - facteurs sociaux ;

Ec - facteurs environnementaux ;

T - solutions technologiques ;

α - coefficient d'échelle ;

$\beta, \gamma, \delta, \epsilon$ – coefficients d'influence de chaque facteur sur l'innovation.

Source : élaboration de l'auteur

Ce modèle formalisé fournit une base structurée pour la conception, l'évaluation et l'optimisation des innovations, garantissant que toutes les dimensions critiques des systèmes complexes sont prises en compte de manière cohérente et quantitative. En quantifiant l'influence des différents domaines, les chercheurs et

praticiens peuvent identifier les zones prioritaires d'intervention et prévoir les résultats potentiels des innovations dans divers scénarios.

À partir de cette représentation formalisée, la méthodologie de développement de l'innovation peut être conceptualisée visuellement par un diagramme en blocs. Ce diagramme illustre les étapes séquentielles et interdépendantes du processus d'innovation, offrant un cadre clair pour l'analyse et la mise en œuvre.

Un tel outil visuel améliore la compréhension du flux de travail, clarifie les relations entre les étapes méthodologiques et soutient la planification systématique des interventions (Figure 1).

Ordre actuel des étapes :

1. Données d'entrée
 - Performances environnementales, sociales, économiques et technologiques
2. Étape 1 : Analyse systémique
 - Identification des relations structurelles
 - Identification des points critiques
3. Étape 2 : Intégration des méthodes
 - Gestion de projet (PMBOK, Agile)
 - Plateformes interdisciplinaires
 - Modélisation et simulation
4. Étape 3 : Modélisation des scénarios
 - Scénarios alternatifs de développement
 - Jumeau numérique, prévisions
5. Étape 4 : Évaluation des risques
 - Analyse SWOT
 - Évaluation des opportunités et des menaces
6. Résultats de sortie
 - Solutions innovantes prêtes à l'emploi
 - Recommandations pour la mise en œuvre pratique

Figure 1. Méthodologie de développement de l'innovation dans les systèmes complexes
Source : élaboration de l'auteur

Cette approche intégrée, combinant la modélisation mathématique formalisée avec des étapes méthodologiques structurées, fournit un cadre complet pour le développement systématique, la validation et la mise en œuvre des innovations dans des systèmes complexes et multidisciplinaires.

Elle permet à la fois une évaluation quantitative rigoureuse et un guidage pour les décideurs, garantissant que les innovations soient efficacement alignées avec les objectifs techniques, sociaux, environnementaux et technologiques.

Intelligence Artificielle et Big Data dans les Systèmes Complexes

Définition et concepts clés

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de l'informatique consacré à la création de systèmes capables d'exécuter des tâches nécessitant typiquement

l'intelligence humaine, telles que l'apprentissage, la reconnaissance de motifs, la prise de décision et le traitement du langage naturel. Les principaux sous-domaines incluent l'apprentissage automatique (machine learning), l'apprentissage profond (deep learning), le traitement du langage naturel et la vision par ordinateur.

Le Big Data se réfère à la collecte, au traitement et à l'analyse de volumes massifs d'informations structurées et non structurées, permettant l'identification de motifs, de tendances et de relations invisibles par les méthodes traditionnelles.

Rôle de l'IA et du Big Data dans les systèmes complexes

L'intégration de l'IA et de l'analyse de Big Data dans les systèmes complexes permet :

- Prévision et évaluation des effets de l'innovation : modélisation du comportement du système et identification des résultats potentiels des changements.
- Automatisation des processus de gestion et optimisation des ressources : amélioration de l'efficacité des processus, réduction des coûts et accélération de la prise de décision.
- Identification des interconnexions cachées entre les composants du système : analyse des dépendances structurelles et fonctionnelles pour améliorer la précision des prédictions.
- Soutien à la décision basé sur des données réelles et des modèles d'apprentissage automatique : intégration d'algorithmes d'IA dans les processus de gestion stratégique et opérationnelle.

L'intégration de l'IA et du Big Data dans le développement de l'innovation accélère la prise de décision, réduit les risques et assure l'adaptabilité des systèmes complexes dans des environnements dynamiques.

Utilisation de l'IA en Ukraine

En Ukraine, l'IA est appliquée dans les domaines suivants :

- Défense et sécurité : drones autonomes, systèmes de surveillance et analyse de données.
- Santé : diagnostic, traitement personnalisé et gestion des données médicales.
- Énergie : optimisation des réseaux électriques et prévision de la demande.
- Éducation : systèmes d'apprentissage adaptatif et assistants intelligents.

Défis et perspectives

- Questions éthiques : assurer la transparence et l'équité des algorithmes, éviter les biais.
- Réglementation : développement de normes nationales et internationales pour l'utilisation de l'IA.
- Infrastructure : nécessité de ressources informatiques et de spécialistes qualifiés.

Les perspectives incluent l'intégration avec les technologies IoT et 5G, le développement de villes intelligentes, l'Industrie 4.0 et le soutien aux processus d'innovation dans les systèmes complexes.

Applications pratiques

Secteur de l'énergie

Les innovations dans les systèmes énergétiques complexes se concentrent sur l'intégration des sources d'énergie renouvelables avec les systèmes de stockage et les réseaux intelligents. Cette approche permet :

- d'assurer un approvisionnement énergétique continu ;
- d'optimiser l'équilibre entre production et consommation ;
- de réduire la dépendance aux sources d'énergie traditionnelles ;
- d'accroître la résilience du système face aux chocs externes et aux changements imprévisibles.

L'utilisation des données massives (Big Data) et des algorithmes d'intelligence artificielle (IA) permet de prévoir les pics de consommation, de gérer la distribution d'énergie en temps réel et d'améliorer l'efficacité globale du système énergétique. L'intégration de ces technologies illustre une approche interdisciplinaire, combinant solutions d'ingénierie, technologies de l'information et planification économique pour créer des systèmes adaptatifs et performants.

Défense

Dans les systèmes militaires, les innovations visent principalement à renforcer la résilience, la protection et l'efficacité opérationnelle des actifs critiques. Les technologies de défense modernes couvrent plusieurs domaines interconnectés, intégrant l'ingénierie, les technologies de l'information, la science des matériaux et les systèmes de gestion avancés. Les principales innovations comprennent :

- Camouflage thermique – développement et application de matériaux et revêtements spécialisés réduisant les émissions infrarouges, diminuant ainsi la visibilité des objets pour les drones et les systèmes d'imagerie thermique. Ces matériaux exploitent souvent des propriétés adaptatives ou bio-inspirées pour réagir dynamiquement aux changements environnementaux, améliorant la survie dans diverses conditions opérationnelles.
- Systèmes anti-drones – ensembles complets de solutions matérielles et logicielles conçus pour détecter, suivre et neutraliser les véhicules aériens sans pilote (UAV) dans les zones critiques. Ces systèmes utilisent des radars, des capteurs radiofréquence, des algorithmes d'apprentissage automatique et des interfaces de contrôle automatisées pour fournir une évaluation et une réponse aux menaces en temps réel.
- Cybersécurité – intégration des technologies réseau et informationnelles pour protéger les données sensibles et assurer le contrôle fiable des systèmes de

défense. Les innovations incluent des méthodes de cryptage avancées, la détection d'anomalies et la modélisation prédictive des menaces pour prévenir tout accès non autorisé et maintenir la continuité opérationnelle.

L'adoption d'approches multidisciplinaires dans l'innovation de défense démontre des avantages stratégiques, opérationnels et technologiques considérables. En intégrant des principes issus de l'ingénierie, des technologies de l'information et de la communication, de la science des matériaux et du contrôle des systèmes, les organisations de défense obtiennent un niveau considérablement accru de connaissance situationnelle, d'efficacité opérationnelle et de résilience face aux menaces conventionnelles et émergentes. La convergence de ces disciplines facilite le développement de solutions techniquement sophistiquées, contextuellement adaptables et capables de répondre à la nature dynamique et complexe des environnements militaires contemporains.

De plus, l'intégration de l'IA et de l'analyse de Big Data dans les systèmes de défense augmente leurs capacités. Ces technologies permettent la modélisation prédictive, l'évaluation des menaces en temps réel, l'optimisation des ressources et la mise en œuvre de stratégies de réponse adaptatives. Ainsi, les décideurs disposent d'outils analytiques robustes pour intervenir de manière informée, rapide et efficace dans des contextes à enjeux élevés.

À partir de cette perspective intégrée, la structure et les interactions de ces innovations multidisciplinaires peuvent être conceptualisées visuellement à l'aide d'un diagramme en blocs. Ce diagramme illustre les composants stratifiés et interdépendants des systèmes de défense modernes, fournissant un cadre clair pour l'analyse et la mise en œuvre pratique (Figure 2) :

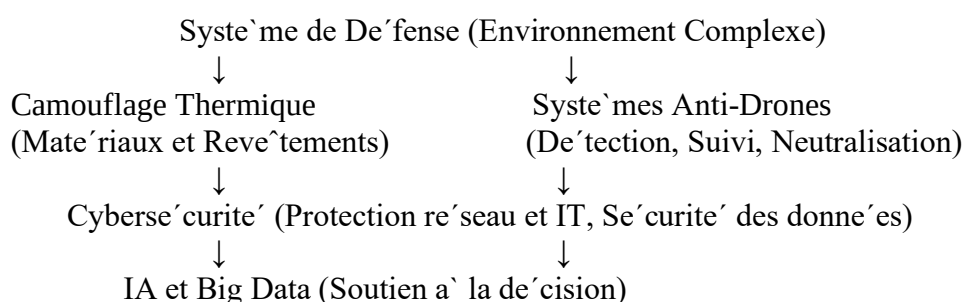


Figure 2. Innovations multidisciplinaires dans les systèmes de défense

Source : élaboration de l'auteur

Description :

- Camouflage thermique – matériaux et revêtements spécialisés réduisant la signature infrarouge des objets, les rendant moins détectables par les drones et les systèmes d'imagerie thermique, améliorant les capacités de furtivité sur le terrain.

- Systèmes anti-drones – suite intégrée d’outils matériels et logiciels pour détecter, suivre et neutraliser les UAV dans les zones sensibles, réduisant les menaces potentielles pour le personnel et les infrastructures.
- Cybersécurité – protection complète des systèmes en réseau et des données sensibles, garantissant la communication sécurisée, la continuité opérationnelle et l’intégrité des processus de commandement et de contrôle.
- IA et Big Data – algorithmes avancés analysant de vastes ensembles de données provenant de multiples sources, fournissant des informations prédictives, soutenant la prise de décision en temps réel et permettant des stratégies de réponse adaptatives face aux menaces évolutives.

Ce diagramme en blocs intégré démontre comment les innovations multidisciplinaires opèrent de manière synergique, produisant un système de défense stratifié qui améliore la connaissance situationnelle, l’efficacité opérationnelle et la résilience face aux menaces conventionnelles et émergentes. La représentation souligne l’importance critique de combiner les dimensions techniques, informationnelles et analytiques pour établir une stratégie de défense cohérente et robuste.

Écologie Urbaine

Les approches innovantes en écologie urbaine visent principalement à renforcer la résilience des villes et à améliorer la qualité de vie de leurs habitants. Ces approches se caractérisent par l’intégration de solutions techniques, environnementales et sociales, reflétant une stratégie multidisciplinaire combinant les connaissances en écologie, ingénierie, urbanisme et technologies de l’information. Les principales directions d’application incluent :

- Gestion des déchets – La gestion moderne des déchets urbains implique l’intégration de systèmes avancés de tri à la source, de recyclage et de production de bioénergie. En mettant en œuvre des processus en boucle fermée, les villes peuvent réduire significativement la pression sur les décharges tout en générant des ressources supplémentaires, telles que le biogaz ou les biocarburants à partir de déchets organiques. L’application de technologies intelligentes, comprenant capteurs, analyses de données et systèmes de tri automatisés, optimise davantage l’efficacité opérationnelle, minimise la pollution environnementale et contribue à l’économie circulaire.
- Atténuation des îlots de chaleur urbains – Les zones urbaines connaissent souvent des températures élevées en raison de la concentration des infrastructures bâties, phénomène connu sous le nom d’« effet d’îlot de chaleur urbain ». Les solutions innovantes visant à réduire le stress thermique comprennent l’installation de toitures et façades végétalisées, de surfaces réfléchissantes à haute albédo, et l’incorporation de corridors végétaux ainsi que d’éléments de conception

urbaine sensibles à l'eau. Ces stratégies permettent non seulement de diminuer les températures ambiantes, mais aussi d'améliorer la qualité de l'air urbain, de promouvoir la biodiversité et d'améliorer le bien-être social en créant des microclimats plus confortables pour les habitants [9].

- Bioénergie et utilisation des ressources renouvelables – La production de bioénergie à partir de déchets organiques et de biomasse végétale constitue un élément crucial du développement urbain durable. Grâce à la conversion contrôlée des matières organiques en biogaz, biocarburants ou autres formes d'énergie, les villes peuvent réduire leur dépendance aux sources d'énergie fossiles traditionnelles, diminuer les émissions de gaz à effet de serre et favoriser l'autosuffisance énergétique. L'intégration de la production de bioénergie dans l'aménagement urbain nécessite une coordination interdisciplinaire, englobant l'ingénierie des déchets, les procédés chimiques et biologiques, ainsi que la gestion énergétique en temps réel à l'aide des technologies de l'information.

Dans l'ensemble, ces orientations innovantes en écologie urbaine démontrent comment les systèmes complexes bénéficient d'une approche multidisciplinaire combinant ingénierie environnementale, urbanisme et solutions technologiques avancées. La mise en œuvre de ces stratégies permet aux villes non seulement d'améliorer la durabilité environnementale, mais aussi de créer des espaces urbains adaptatifs, résilients et habitables, capables de répondre aux changements climatiques, sociaux et technologiques continus.

Inclusion et Accessibilité

Les innovations dans les systèmes complexes jouent un rôle crucial dans la promotion de l'inclusion et de l'accessibilité, garantissant que les infrastructures urbaines, éducatives et sociales répondent aux besoins diversifiés de tous les individus, y compris des personnes en situation de handicap. Les approches modernes de l'inclusion sont intrinsèquement multidisciplinaires, combinant les connaissances en ingénierie, technologies de l'information, sciences sociales et éducation afin de créer des systèmes adaptatifs, résilients et accessibles.

Les principaux domaines de mise en œuvre pratique incluent :

- Environnements physiques et numériques accessibles – La conception et le déploiement d'espaces publics et de services numériques inclusifs sont essentiels pour permettre aux personnes de capacités variées de participer pleinement aux activités sociales, éducatives et économiques. Cela implique l'intégration des principes de conception universelle, des technologies d'assistance et des infrastructures intelligentes soutenant la mobilité, la navigation et l'accès autonome [10].
- Plateformes éducatives adaptatives – Les innovations technologiques permettent le développement de systèmes d'apprentissage personnalisés et adaptatifs

prenant en compte les besoins individuels, les styles d'apprentissage et les capacités cognitives. Ces plateformes utilisent des analyses avancées, des algorithmes d'apprentissage automatique et des interfaces interactives pour fournir un contenu éducatif personnalisé, suivre les progrès et offrir des retours en temps opportun, améliorant ainsi les résultats pour les étudiants aux capacités diversifiées.

- Surveillance et soutien de la mobilité et de l'intégration sociale – L'intégration des technologies basées sur les capteurs, des réseaux de communication et des systèmes d'information permet un suivi continu des schémas de mobilité, de la santé et de l'engagement social des personnes en situation de handicap. Ces solutions facilitent la détection précoce des défis potentiels, soutiennent l'autonomie et renforcent la participation sociale. Elles permettent également aux décideurs et urbanistes de prendre des décisions fondées sur les données afin d'optimiser l'accessibilité et l'inclusivité à l'échelle systémique.

La mise en œuvre pratique de ces innovations illustre la puissance d'une approche multidisciplinaire pour relever les défis sociétaux complexes. En combinant considérations techniques, sociales et environnementales, ces solutions intégrées améliorent l'efficacité, la sécurité et la résilience des systèmes complexes, tout en favorisant un accès équitable et en soutenant des environnements urbains et éducatifs inclusifs. Ces approches améliorent non seulement la qualité de vie des individus, mais contribuent également au développement de systèmes durables, adaptatifs et socialement responsables dans des environnements en rapide évolution.

Défis et Perspectives

Risques de fragmentation des connaissances en l'absence d'intégration

L'un des principaux défis dans le développement et la mise en œuvre des innovations au sein des systèmes complexes réside dans la fragmentation des connaissances à travers différentes disciplines et secteurs. En l'absence de mécanismes d'intégration efficaces, cette fragmentation peut conduire à la duplication des efforts, à la sous-utilisation des expertises disponibles et à l'émergence de solutions sous-optimales ou erronées. Ce problème est particulièrement marqué dans les systèmes caractérisés par une forte complexité, où les interactions entre composants sont indirectes, non linéaires et souvent dynamiques, ce qui signifie que des erreurs ou inefficiences à un niveau peuvent se propager et générer des effets en cascade à travers l'ensemble du système.

Les conséquences de la fragmentation des connaissances vont au-delà de l'inefficacité. Elles peuvent entraver l'identification des interdépendances critiques, réduire l'adaptabilité du système et limiter le potentiel d'innovations. Dans des environnements multidisciplinaires, des recherches non coordonnées peuvent provoquer des méthodologies conflictuelles, des technologies incompatibles et des

lacunes dans la collecte de données et les cadres analytiques. Ces manques compromettent la compréhension globale du système, augmentant les risques pour la planification stratégique, la gestion opérationnelle et l'élaboration de politiques.

La gestion de ces risques nécessite des approches structurées d'intégration des connaissances, incluant la collaboration interdisciplinaire, des plateformes pour l'échange de données et d'analyses, ainsi que l'adoption de cadres de pensée systémique. Des outils tels que les ontologies, les environnements de modélisation intégrée et les méthodologies collaboratives de projet aident à synthétiser les expertises et à créer des stratégies cohérentes pour l'innovation. L'intégration de technologies avancées, notamment l'intelligence artificielle et l'analyse de Big Data, peut améliorer la coordination des flux de connaissances et soutenir la prise de décision en temps réel, réduisant la fragmentation et renforçant la résilience, l'adaptabilité et l'efficacité des systèmes complexes.

Le développement de stratégies efficaces pour atténuer la fragmentation des connaissances représente à la fois un défi majeur et une opportunité clé pour renforcer la capacité des systèmes complexes à innover de manière durable. En favorisant l'intégration interdisciplinaire, les organisations et les communautés peuvent s'assurer que les innovations sont non seulement techniquement solides, mais également socialement pertinentes, écologiquement durables et capables de s'adapter à des contextes en évolution et à des perturbations imprévues.

Le Défi de l'Harmonisation des Normes Réglementaires et Techniques

Un défi majeur dans l'avancement des innovations dans les systèmes complexes réside dans l'harmonisation des cadres réglementaires et normes techniques à travers les secteurs. Les industries opèrent souvent selon leurs propres normes, réglementations de sécurité et protocoles de conformité, parfois incohérents ou conflictuels. Ces disparités constituent des obstacles à l'intégration de solutions innovantes, surtout lorsque les systèmes complexes exigent la collaboration d'agences gouvernementales, d'entreprises et d'organisations de la société civile.

L'absence d'harmonisation standardisée peut nuire à l'interopérabilité, augmenter le risque d'erreurs et réduire l'efficacité des opérations. Par exemple, lorsque les spécifications techniques diffèrent entre composants ou sous-systèmes, l'intégration peut devenir coûteuse et chronophage. De plus, les incohérences réglementaires peuvent freiner l'adoption de nouvelles technologies, car les exigences légales et certifications varient selon les secteurs. Ces défis sont accentués dans les systèmes très interconnectés, où la non-conformité d'un composant peut provoquer des inefficiences ou des défaillances critiques.

La résolution de ce problème nécessite une approche coordonnée, incluant l'alignement des normes techniques, le développement de cadres réglementaires intersectoriels et la mise en œuvre de modèles de gouvernance adaptatifs. Des

mécanismes tels que les groupes de travail inter-agences, l'adoption de normes internationales et la certification collaborative facilitent la réconciliation des exigences divergentes et renforcent la cohérence du système. Par ailleurs, l'intégration de plateformes numériques pour la surveillance en temps réel, la vérification de la conformité et le soutien à la standardisation améliore la transparence, réduit les conflits et permet un déploiement plus agile de l'innovation.

L'harmonisation des normes techniques et réglementaires n'est pas seulement une nécessité procédurale ; elle constitue un levier stratégique pour les innovations interdisciplinaires. En assurant compatibilité, sécurité et efficacité opérationnelle, des normes harmonisées renforcent la capacité des organisations à innover durablement tout en réduisant les risques d'incompatibilité technique, de violations réglementaires et de performance fragmentée. Dans un contexte technologique, social et environnemental en rapide évolution, cet alignement devient une pierre angulaire pour le développement de systèmes résilients et intégrés.

La Nécessité de Nouvelles Formes de Partenariats Intersectoriels

La réussite des innovations dans les systèmes complexes dépend d'une collaboration stratégique entre secteurs publics, privés, académiques et de la société civile. Ces partenariats permettent de mutualiser les ressources, de consolider des compétences et d'exploiter l'expertise collective, renforçant ainsi l'efficacité, la durabilité et l'évolutivité des solutions innovantes.

Les formes émergentes de collaboration intersectorielle incluent les plateformes de recherche conjointes, les pôles d'innovation, les réseaux collaboratifs et les coalitions multipartites facilitant l'échange de connaissances et la résolution de problèmes. Par exemple, les plateformes de recherche fournissent une infrastructure partagée, des outils informatiques et des données permettant aux équipes interdisciplinaires de développer et tester les innovations plus efficacement. Les pôles d'innovation servent de catalyseurs pour l'expérimentation, soutenant start-ups, projets pilotes et activités de transfert technologique qui comblent le fossé entre recherche et application. Les coalitions multipartites favorisent l'alignement entre cadres réglementaires, normes techniques et besoins sociétaux, garantissant que les innovations sont à la fois robustes et socialement acceptables.

Le besoin de tels partenariats est crucial dans les systèmes complexes où les défis sont interdépendants. Par exemple, dans les projets de durabilité urbaine, les collaborations entre autorités municipales, fournisseurs d'énergie, universités et ONG peuvent accélérer le déploiement d'infrastructures intelligentes, de solutions énergétiques renouvelables et de technologies inclusives. Dans les systèmes de santé, les partenariats entre institutions médicales, entreprises technologiques et laboratoires de recherche facilitent l'intégration d'outils de santé numériques, de

plateformes de télémédecine et de modèles de soins adaptatifs répondant efficacement aux besoins diversifiés des patients.

Au-delà de l'efficacité opérationnelle, les partenariats intersectoriels favorisent la résilience et l'adaptabilité des systèmes complexes. En permettant des boucles de rétroaction continues, le partage de données en temps réel et la prise de décision conjointe, ces collaborations atténuent les risques liés à l'incertitude, aux contraintes de ressources et aux perturbations technologiques. Par ailleurs, elles favorisent la diffusion de l'innovation à travers les secteurs, garantissant que les bonnes pratiques et les solutions réussies sont reproduites et adaptées dans de nouveaux contextes.

En conclusion, le développement de nouveaux partenariats intersectoriels n'est pas seulement une mesure de soutien, mais un impératif stratégique pour le progrès des innovations interdisciplinaires. En combinant ressources, connaissances et expertises au-delà des frontières institutionnelles, ces partenariats renforcent la capacité des systèmes complexes à relever les défis environnementaux, sociaux et technologiques, tout en favorisant un développement durable et inclusif.

Perspectives pour le Développement de Plates-formes Universelles pour les Innovations Multidisciplinaires

L'une des perspectives clés pour la promotion des innovations dans les systèmes complexes réside dans le développement de plates-formes intégratives universelles, facilitant l'interaction entre spécialistes de disciplines variées, permettant l'analyse automatisée des données et soutenant la gestion des processus d'innovation. Ces plates-formes servent d'infrastructures collaboratives intégrant outils technologiques, analytiques et organisationnels, offrant ainsi un environnement unifié pour la résolution de problèmes interdisciplinaires.

Ces plateformes universelles peuvent inclure plusieurs composants critiques :

- Pôles de collaboration numérique – environnements virtuels facilitant la communication et l'échange de connaissances entre experts de divers domaines, favorisant la co-crédation et le développement de projets interdisciplinaires.
- Outils d'analyse Big Data et de modélisation de scénarios – modules informatiques permettant de traiter de vastes ensembles de données, de simuler des résultats potentiels et d'évaluer les impacts systémiques des innovations.
- Systèmes décisionnels adaptatifs basés sur l'intelligence artificielle (IA) – outils pilotés par IA optimisant les processus, prédisant les risques et fournissant des recommandations pour les actions stratégiques, améliorant la précision et la rapidité de la prise de décision dans des environnements dynamiques.
- Modules d'intégration standardisés – composants interopérables visant à harmoniser diverses technologies et méthodologies, réduisant les barrières techniques et assurant une mise en œuvre cohérente à travers différents systèmes.

La mise en place de telles plates-formes répond à un défi central de l'innovation dans les systèmes complexes : la fragmentation des connaissances. En offrant un cadre partagé pour la collaboration interdisciplinaire, elles réduisent les redondances, optimisent l'utilisation des ressources intellectuelles et facilitent la traduction des connaissances en solutions pratiques. De plus, elles renforcent l'évolutivité et l'adaptabilité des innovations, permettant un déploiement rapide dans divers contextes, des infrastructures urbaines et systèmes énergétiques aux réseaux de santé et à la gestion environnementale.

Par ailleurs, les plates-formes universelles offrent des opportunités pour un apprentissage continu et une amélioration itérative. En intégrant la surveillance en temps réel, des mécanismes de rétroaction et des analyses assistées par IA, elles permettent aux organisations de raffiner leurs stratégies d'innovation, de répondre aux défis émergents et d'optimiser la performance systémique. Elles favorisent également la transparence et la reproductibilité, assurant que les pratiques innovantes puissent être évaluées et adaptées à différents secteurs.

En conclusion, le développement de plates-formes universelles pour les innovations multidisciplinaires représente une approche transformatrice pour gérer la complexité dans les systèmes modernes. En combinant intégration technologique, prise de décision basée sur les données et collaboration interdisciplinaire, ces plates-formes améliorent l'efficacité, la résilience et la durabilité des systèmes complexes, ouvrant la voie à une innovation accélérée et à un impact sociétal étendu.

Conclusion

L'étude confirme que les innovations dans les systèmes complexes atteignent leur efficacité maximale grâce à une approche multidisciplinaire. L'intégration des connaissances, méthodologies et technologies de différents domaines renforce l'adaptabilité, la résilience et la performance globale du système.

Les principaux résultats incluent :

- Motifs systémiques communs : malgré des domaines variés – techniques, sociaux, écologiques, de défense et médicaux – les systèmes complexes partagent des principes universels d'innovation. Reconnaître ces motifs facilite le transfert des meilleures pratiques et stratégies entre secteurs.
- Synergie par l'intégration : la collaboration interdisciplinaire réunit l'ingénierie, l'informatique, la biologie et les sciences sociales, améliorant la précision des prévisions, l'efficacité et la réactivité aux besoins humains et environnementaux.
- Outils méthodologiques : l'analyse des systèmes, la gestion de projet, les plateformes collaboratives et l'analyse de Big Data permettent une intégration systématique de l'innovation, le suivi des impacts et la gestion adaptative.

- Domaines d'application : les innovations multidisciplinaires apportent des bénéfices mesurables dans les systèmes énergétiques, les technologies de défense, l'écologie urbaine et les environnements inclusifs.

Des défis subsistent dans l'harmonisation des normes, la réduction de la fragmentation des connaissances et le développement de partenariats. Tenir compte de ces enjeux assure des processus d'innovation cohérents, évolutifs et durables.

En résumé, l'approche multidisciplinaire offre un cadre pour intégrer les dimensions techniques, sociales et écologiques des systèmes complexes, renforçant la résilience, l'efficacité et la durabilité dans de multiples domaines.

Références

1. Bar-Yam, Y. (1997). Dynamics of Complex Systems. Reading, MA : Addison-Wesley.
2. Helbing, D. (2013). Risques mondiaux en réseau et réponses possibles. *Nature*, 497, 51–59.
3. Simon, H. A. (1962). L'architecture de la complexité. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467–482.
4. Meadows, D. H. (2008). *Penser en systèmes : Un guide introductif*. Chelsea Green Publishing.
5. Havryliuk, V. M. (2020). Analyse systémique dans le contexte des processus socio-économiques complexes. *Bulletin de l'Université Nationale Taras Shevchenko de Kiev. Économie*, 4(217), 11–18.
6. Carayannis, E. G., Campbell, D. F. J., & Rehman, S. S. (2021). *Mode 3 de production des connaissances dans les systèmes d'innovation de l'hélice quadruple*. Springer.
7. Zhang, H., Li, Y., & Wang, Z. (2023). Systèmes adaptatifs complexes dans l'innovation en défense. *Defence Technology*, 19(3), 342–355.
8. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2021). Architecture des systèmes cyber-physiques pour les systèmes de fabrication basés sur l'industrie 4.0. *Manufacturing Letters*, 28, 24–30.
9. Melnyk, V., Shevchenko, R., & Bondarenko, L. (2020). Iles de chaleur urbaines : Stratégies d'atténuation et adaptation climatique. *Environmental Research Letters*, 15(11), 1–15.
10. Tymoshenko, V. (2022). Accessibilité numérique pour les personnes en situation de handicap : Méthodes et technologies. *Journal of Social Innovations*, 14(1), 55–72.

[DE_6]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Multidisziplinäre Innovationen in komplexen Systemen

Abstract

Dieser Beitrag untersucht Innovationen in komplexen Systemen unter Anwendung eines multidisziplinären Ansatzes. Es werden das Konzept eines „komplexen Systems“ sowie dessen Klassifikation (technisch, sozial, ökologisch, militärisch, medizinisch) analysiert, ebenso wie die Vernetzung von Innovationen und die Wissenssynergien zwischen verschiedenen Fachbereichen. Methodologische Ansätze zur Innovationsentwicklung in komplexen Systemen werden vorgestellt, darunter Systemanalyse, Projektmanagement sowie die Integration von Künstlicher Intelligenz und Big Data. Praktische Anwendungen in den Bereichen Energie, Verteidigung, urbane Ökologie und Inklusion werden untersucht. Herausforderungen und Perspektiven multidisziplinärer Innovationen, einschließlich Wissensfragmentierung, Standardisierung und sektorübergreifender Partnerschaften, werden hervorgehoben. Der Beitrag liefert sowohl theoretische Neuheiten als auch praxisrelevanten Mehrwert für Forschende, Technologieentwickler und Manager komplexer Systeme [1, 2].

Schlüsselwörter: Innovation komplexer Systeme, multidisziplinärer Ansatz, komplexe Systeme, Systemanalyse, Künstliche Intelligenz, Big Data, urbane Ökologie, Verteidigungstechnologien, Inklusion

Einleitung

Moderne komplexe Systeme zeichnen sich durch einen hohen Grad an Integration ihrer Komponenten und gegenseitige Abhängigkeiten zwischen technischen, sozialen, ökologischen und organisatorischen Subsystemen aus. Innovationen innerhalb solcher Systeme spielen eine entscheidende Rolle, da sie nicht nur die Effizienz steigern, sondern auch Resilienz und Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Bedingungen gewährleisten [1, 3].

Die zunehmende Komplexität zeitgenössischer Untersuchungs- und Steuerungsobjekte erfordert die Anwendung eines multidisziplinären Ansatzes, der

Wissen aus unterschiedlichen Bereichen integriert, darunter Ingenieurwesen, Informationstechnologie, Biologie, Soziologie und Management [2, 4]. Dieser Ansatz fördert eine Synergie der Kompetenzen, beschleunigt die Implementierung von Innovationen und ermöglicht eine umfassende Bewertung der Systemleistung. Durch die Nutzung disziplinübergreifender Erkenntnisse können Akteure systemische Risiken antizipieren, Ressourcenzuweisungen optimieren und die Gesamteffektivität steigern.

Ziel dieser Studie ist es, Innovationen in komplexen Systemen unter Anwendung eines multidisziplinären Ansatzes zu untersuchen, die methodologischen Grundlagen ihrer Entwicklung zu definieren und praktische Anwendungsbereiche zu identifizieren. Die Ziele des Artikels umfassen:

- Analyse der theoretischen Grundlagen komplexer Systeme und deren Klassifikation;
- Untersuchung der Methodologien zur Innovationsentwicklung in komplexen Systemen;
- Übersicht über praktische Anwendungen in verschiedenen Sektoren;
- Identifikation zentraler Herausforderungen und zukünftiger Perspektiven multidisziplinärer Innovationen.

Diese Arbeit trägt wissenschaftliche Neuheiten bei, indem sie eine umfassende Perspektive auf Innovationsprozesse innerhalb komplexer Systeme bietet und die disziplinübergreifende Integration als Treiber für Effektivität hervorhebt. Ihre praktische Relevanz liegt in der Orientierung technologischer Entwicklungen in den Bereichen Energie, Verteidigung, urbane Ökologie und inklusive Lösungen, wodurch sie Forschenden, Praktikern und Systemmanagern einen Rahmen bietet.

Theoretischer Block

Konzept komplexer Systeme

Ein komplexes System kann als ein organisiertes Ensemble miteinander verknüpfter Elemente definiert werden, das in der Lage ist, als kohärente und adaptive Struktur zu funktionieren und gleichzeitig auf kontinuierliche Veränderungen der externen Umwelt zu reagieren. Solche Systeme zeichnen sich durch ein hohes Maß an gegenseitiger Abhängigkeit ihrer Komponenten aus, was bedeutet, dass eine Veränderung eines Elements sich auf das gesamte Netzwerk ausbreiten und andere Elemente sowohl direkt als auch indirekt beeinflussen kann.

Komplexe Systeme zeigen zudem nichtlineares Verhalten, bei dem die Beziehung zwischen Eingaben und Ausgaben nicht proportional ist, und kleine Änderungen unverhältnismäßig große oder unerwartete Konsequenzen hervorrufen können. Ein weiteres zentrales Merkmal komplexer Systeme ist ihre Fähigkeit zur Selbstregulierung und zum emergenten Verhalten, wodurch sie Stabilität bewahren,

ihre interne Struktur reorganisieren und die Leistung unter variierenden externen Bedingungen optimieren können.

Das Verständnis komplexer Systeme erfordert eine multidisziplinäre Perspektive, die Erkenntnisse aus dem Ingenieurwesen, der Informationstechnologie, der Biologie, den Sozialwissenschaften und dem Management integriert. Dieser Ansatz erfasst sowohl Mikrointeraktionen einzelner Komponenten als auch Makromuster, die aus diesen Interaktionen entstehen. Eine solche ganzheitliche Perspektive erleichtert die Identifikation kritischer Knotenpunkte, potenzieller Schwachstellen und Innovationsmöglichkeiten und ermöglicht die effektive Gestaltung, Implementierung und nachhaltige Entwicklung komplexer Systeme.

In der zeitgenössischen Forschung werden komplexe Systeme häufig nach funktionalen und strukturellen Merkmalen klassifiziert. Diese Klassifikation bietet einen Rahmen zum Verständnis der Vielfalt komplexer Systeme und hebt allgemeine Prinzipien hervor, die ihrer Entwicklung, Anpassung und der Integration innovativer Lösungen über verschiedene Domänen hinweg zugrunde liegen (Tabelle 1).

Tabelle 1. Klassifikation komplexer Systeme

Typ komplexer Systeme	Beispiele	Wesentliche Merkmale
Technische Systeme	Industriekomplexe, Transport- und Energienetze, automatisierte Produktionslinien	Hoher Grad an technischer Integration, Abhängigkeit von physischer Infrastruktur, Skalierbarkeit
Soziale Systeme	Organisationen, Gemeinschaften, wirtschaftliche und Bildungssysteme	Menschzentrierte Interaktionen, soziale Normen, organisatorische Strukturen
Umwelt-Systeme	Natürliche Landschaften, urbane Ökosysteme, Bioenergie-Komplexe	Abhängigkeit vom ökologischen Gleichgewicht, Nachhaltigkeitsaspekte
Medizinische Systeme	Gesundheitsdienste, Rehabilitationszentren, Fernüberwachungssysteme für Patienten	Integration klinischer, technologischer und organisatorischer Komponenten

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Diese Klassifikation verdeutlicht, dass trotz der unterschiedlichen strukturellen und funktionalen Merkmale jedes Typs von komplexem System allgemeine Muster der Entwicklung, Innovationsimplementierung und adaptiven Steuerung bestehen bleiben. Dies ermöglicht die Anwendung eines multidisziplinären Ansatzes in Forschung und Praxis [5].

Schlüsselmerkmale komplexer Systeme:

- Gegenseitige Abhängigkeit: Komponenten beeinflussen einander; kleine Veränderungen können sich im gesamten System ausbreiten.

- Nichtlinearität: Ausgaben sind nicht proportional zu den Eingaben, wodurch adaptive Strategien erforderlich werden.
- Selbstregulierung: Mechanismen zur Aufrechterhaltung der Stabilität bei externen Störungen sind vorhanden.
- Adaptivität: Fähigkeit, auf Umweltveränderungen und sich entwickelnde Bedingungen zu reagieren.

Das Verständnis und die Klassifikation komplexer Systeme sind entscheidend für die Gestaltung und Entwicklung effektiver Innovationen. Sie ermöglichen es Forschenden und Praktikern, Interventionen an kritischen Punkten zu platzieren und eine optimale Integration über verschiedene Systemtypen hinweg sicherzustellen.

Beziehung zwischen Innovation und Multidisziplinarität

Innovation in komplexen Systemen überschreitet in der Regel die Grenzen einer einzelnen Disziplin. Die effektive Implementierung neuer Technologien, Managementmethoden oder organisatorischer Lösungen erfordert die Integration von Wissen und Kompetenzen aus verschiedenen Fachbereichen, was die Anpassungsfähigkeit der Systeme an dynamische Umweltbedingungen erhöht.

Ein multidisziplinärer Ansatz ermöglicht es:

- die Genauigkeit der Prognose von Innovationsfolgen zu verbessern;
- eine umfassende Bewertung von Risiken und Nutzen unter langfristiger Perspektive durchzuführen;
- die Systemanpassung an unvorhersehbare Faktoren, insbesondere während Krisen oder kriegerischer Herausforderungen, zu beschleunigen;
- Wissenssynergien zu schaffen, die das intellektuelle Potenzial von Forschenden, Entwickelnden und Manager:innen stärken [6].

Je nach Anwendungsbereich nimmt die Multidisziplinarität unterschiedliche Formen an:

- In technischen Systemen verbessert die Integration von Ingenieur- und digitalen Lösungen Effizienz und Resilienz;
- In sozialen Systemen führt die Kombination von Management- und Kommunikationswissenschaften zu neuen Modellen der Gemeinschafts- und Organisationsinteraktion;
- In ökologischen Systemen gewährleistet die Zusammenarbeit von Umwelt- und Wirtschaftswissenschaften ein Gleichgewicht zwischen Effizienz und Ressourcenschonung;
- In militärischen Systemen ermöglicht die Synergie von Überwachungs-, Tarn- und Managementtechnologien einen mehrstufigen Schutz [7];
- In medizinischen Systemen verbessert die Integration klinischer Praktiken, digitaler Plattformen und bioingenieurtechnischer Lösungen die Behandlungsqualität und Patientenüberwachung.

Synergie von Wissen aus verschiedenen Disziplinen: Ingenieurwesen + IT + Biologie + Soziologie

Die Synergie von Wissen in einem multidisziplinären Kontext bezieht sich auf die Kombination von Methoden und Ansätzen aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Domänen, um Ergebnisse zu erzielen, die innerhalb einer einzelnen Disziplin nicht möglich wären. Diese Integration schafft neuen intellektuellen Mehrwert, beschleunigt Innovationsprozesse und unterstützt die Resilienz komplexer Systeme.

Beispiele für Beiträge einzelner Disziplinen:

- Ingenieurwesen: Grundlage für die Entwicklung physischer und technischer Lösungen, von Infrastruktur bis hin zu fortschrittlichen Materialien.
- Informationstechnologien (IT): Ermöglichen Prozessautomatisierung, Simulationen und Big-Data-Analysen, wodurch Skalierbarkeit und Präzision gewährleistet werden [8].
- Biologie: Liefert Wissen über adaptive Mechanismen, biomimetische Lösungen und Energieeffizienz und inspiriert nachhaltige Innovationen.
- Soziologie: Unterstützt das Verständnis des Verhaltens und der organisatorischen Aspekte menschlicher Interaktion mit Systemen und fördert Inklusivität und soziale Nachhaltigkeit [9].

Die Integration dieser Disziplinen schafft eine robuste Grundlage für Innovationen, die es komplexen Systemen ermöglichen, technische Effizienz, ökologische Anpassung und soziale Relevanz gleichzeitig zu adressieren. Durch die Kombination von Wissen und Methoden aus mehreren Fachbereichen lassen sich Lösungen entwickeln, die nicht nur funktional effektiv, sondern auch widerstandsfähig gegenüber unvorhersehbaren Veränderungen und Herausforderungen sind. Diese interdisziplinäre Synergie gewährleistet, dass komplexe Systeme Nachhaltigkeit, operative Flexibilität und hohe Produktivität im Kontext rascher technologischer Entwicklungen und sich wandelnder gesellschaftlicher Anforderungen aufrechterhalten [5].

Die Integration von Ingenieurwesen, Informationstechnologie, Biologie und Soziologie bildet die Grundlage für die Entwicklung von Innovationen, die gleichzeitig technische Effizienz, Umweltverträglichkeit und soziale Relevanz steigern. Durch die Kombination fachspezifischer Methodologien – wie Systems Engineering, Data Science, biomimetisches Design und sozio-behaviorale Analyse – können multidisziplinäre Teams Probleme aus komplementären Perspektiven angehen und Hebelpunkte identifizieren, die in einseitigen Disziplinstudien verborgen bleiben.

Diese multidimensionale Synergie ermöglicht komplexen Systemen, hohe Anpassungsfähigkeit, Resilienz und operative Produktivität zu bewahren,

insbesondere in Kontexten schneller technologischer Entwicklungen und wandelnder gesellschaftlicher Anforderungen. Zudem unterstützt diese integrative Arbeit evidenzbasierte Entscheidungen, indem quantitative Modelle mit qualitativen Erkenntnissen verbunden werden, was sowohl kurzfristige operative Ergebnisse als auch langfristige strategische Planung verbessert.

Die wachsende Verflechtung dieser Disziplinen betont die Bedeutung koordinierter Methoden, bei denen jedes Fachgebiet spezifische Werkzeuge, Perspektiven und Techniken einbringt. Eine solche Integration fördert Innovationen und die Übertragung wissenschaftlicher Erkenntnisse in praktische, gesellschaftlich vorteilhafte Ergebnisse. Sie ist besonders entscheidend für nachhaltige, menschenzentrierte technologische Paradigmen (Tabelle 2).

Tabelle 2. Beitrag der Disziplinen zur Innovation komplexer Systeme

Disziplin	Hauptbeitrag zur Innovation	Anwendungsbeispiel
Ingenieurwesen	Entwicklung physischer und technischer Lösungen	Speicherung erneuerbarer Energie, Robotik
IT	Prozessautomatisierung, Simulation, Big-Data-Analysen	Smart Cities, cyber-physische Systeme
Biologie	Biomimetische Ansätze, Energieeffizienz, Anpassungsfähigkeit	Bio-inspirierte Materialien, Green Tech
Soziologie	Verhaltens- und Organisationsaspekte, Inklusivität	Partizipative Governance, E-Health

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Methodologischer Block

Ansätze zur Innovationsentwicklung in komplexen Systemen

Die Entwicklung von Innovationen in komplexen Systemen erfordert einen systemischen, mehrstufigen Ansatz, der interne Systemeigenschaften und externe Einflüsse berücksichtigt. Zentrale methodologische Strategien umfassen:

- Systemansatz: Betrachtung des Systems als ganzheitliche Einheit, die die Interaktion aller Komponenten berücksichtigt. Dies ermöglicht die Identifikation kritischer Punkte, die Prognose langfristiger Entwicklungen und die Modellierung der Konsequenzen von Innovationsimplementierungen.
- Evolutionärer Ansatz: Schrittweise Verbesserung des Systems durch Integration kontrollierter innovativer Änderungen. Dieser Prozess reduziert Risiken, erleichtert Zwischenbewertungen und erhöht die Zuverlässigkeit.
- Adaptiver Ansatz: Flexible Reaktion auf externe Faktoren wie technologische, soziale, ökologische und sicherheitsrelevante Einflüsse. Er erlaubt schnelle Korrekturen und Integration neuer Werkzeuge unter unsicheren Bedingungen.
- Szenario-basierter Ansatz: Nutzung prädiktiver Modelle und alternativer Entwicklungsszenarien. Dies unterstützt die Erprobung verschiedener Veränderungspfade und die Bestimmung des optimalen Handlungsverlaufs.

Integrationsmethoden

Die Integration von Wissen und Lösungen aus verschiedenen Disziplinen stellt einen entscheidenden Erfolgsfaktor für multidisziplinäre Innovationen dar. Die wichtigsten Methoden umfassen:

- Systemanalyse: Bewertung der Struktur, Funktionen und Wechselwirkungen der Komponenten. Sie ermöglicht die Identifikation von Zonen mit hoher Innovationswirkung und die Prognose systemischer Effekte.
- Projektmanagement: Planung, Organisation, Überwachung und Steuerung der Projektdurchführung.
- Disziplinübergreifende Plattformen: Digitale und organisatorische Umgebungen für die Zusammenarbeit von Fachspezialisten unterschiedlicher Bereiche, die den schnellen Wissensaustausch, kollektive Modellierung und beschleunigtes Testen innovativer Lösungen fördern.
- Modellierung und Simulation: Einsatz von digitalen Zwillingen, mathematischen und computergestützten Modellen zur Prüfung von Lösungen in einer virtuellen Umgebung vor der Implementierung.
- SWOT- und Risikoanalyse: Strukturierte Bewertung von Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken, die die Prognose von Innovationsergebnissen und die Minderung negativer Effekte ermöglicht.

Formalisiertes Modell

Der Innovationsprozess in komplexen Systemen kann formalisiert werden, um seine multidisziplinäre Natur widerzuspiegeln und die Wechselwirkungen zwischen Umwelt-, Sozial-, Wirtschafts- und Technologiefaktoren zu erfassen. Eine mathematische Darstellung erlaubt die systematische Analyse und Quantifizierung des Einflusses jedes Faktors auf das Gesamtniveau der Systeminnovativität. Die Beziehung lässt sich folgendermaßen ausdrücken (Formel 1):

$$I = \alpha E^{\beta} S o^{\gamma} E c^{\delta} T^{\epsilon} \quad (1)$$

Legende:

I - Innovationsniveau des Systems

E - technische/ingenieurwissenschaftliche Faktoren

So - soziale Faktoren

Ec - Umweltfaktoren

T - technologische Lösungen

α - Skalierungsfaktor

$\beta, \gamma, \delta, \epsilon$ – Einflusskoeffizienten der jeweiligen Faktoren auf die Innovationskraft

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Dieses formalisierte Modell bietet eine strukturierte Grundlage für die Gestaltung, Bewertung und Optimierung von Innovationen, wobei alle kritischen Dimensionen komplexer Systeme kohärent und quantitativ berücksichtigt werden. Durch die Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Domänen können Forschende und Praktiker prioritäre Handlungsfelder identifizieren und die

Ergebnisse potenzieller Innovationen unter verschiedenen Szenarien prognostizieren.

Aufbauend auf dieser formalisierten Darstellung kann die Methodik der Innovationsentwicklung durch ein Blockdiagramm visuell konzeptualisiert werden. Dieses Diagramm illustriert die sequenziellen und wechselseitigen Phasen des Innovationsprozesses und bietet einen klaren Rahmen für Analyse und praktische Umsetzung.

Ein solches visuelles Instrument verbessert das Verständnis des Workflows, verdeutlicht die Beziehungen zwischen den methodischen Phasen und unterstützt die systematische Planung von Interventionen (Abbildung 1).

Aktuelle Abfolge der Phasen:

1. Input-Daten
 - Umwelt-, soziale, wirtschaftliche und technologische Leistungskennzahlen
2. Phase 1: Systemanalyse
 - Identifikation struktureller Zusammenhänge
 - Erkennung kritischer Punkte
3. Phase 2: Integration der Methoden
 - Projektmanagement (PMBOK, Agile)
 - Disziplinübergreifende Plattformen
 - Modellierung & Simulation
4. Phase 3: Szenariomodellierung
 - Alternative Entwicklungsszenarien
 - Digitaler Zwilling, Prognosen
5. Phase 4: Risikoabschätzung
 - SWOT-Analyse
 - Bewertung von Chancen und Risiken
6. Output-Ergebnisse
 - Fertige innovative Lösungen
 - Empfehlungen für die praktische Umsetzung

Abbildung 1: Methodik der Innovationsentwicklung in komplexen Systemen

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Dieser integrierte Ansatz, der formalisiertes mathematisches Modellieren mit strukturierten methodischen Phasen kombiniert, bietet einen umfassenden Weg für die systematische Entwicklung, Prüfung und Implementierung von Innovationen in komplexen, multidisziplinären Systemen. Er ermöglicht sowohl eine rigorose quantitative Bewertung als auch praxisorientierte Handlungsanleitungen für Entscheidungsträger, sodass Innovationen effektiv auf technische, soziale, ökologische und technologische Ziele ausgerichtet werden können.

Künstliche Intelligenz und Big Data in komplexen Systemen

Definition und Schlüsselkonzepte

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Teilgebiet der Informatik, das sich auf die Entwicklung von Systemen konzentriert, die Aufgaben ausführen können, die üblicherweise menschliche Intelligenz erfordern, wie Lernen, Mustererkennung, Entscheidungsfindung und Verarbeitung natürlicher Sprache. Wichtige Teilbereiche sind maschinelles Lernen, Deep Learning, natürliche Sprachverarbeitung und Computer Vision.

Big Data bezeichnet die Sammlung, Verarbeitung und Analyse großer Mengen strukturierter und unstrukturierter Daten, um Muster, Trends und Zusammenhänge zu identifizieren, die mit herkömmlichen Methoden nicht erkennbar sind.

Rolle von KI und Big Data in komplexen Systemen

Die Integration von KI und Big-Data-Analysen in komplexe Systeme ermöglicht:

- Vorhersage und Bewertung von Innovationseffekten: Modellierung des Systemverhaltens und Identifikation potenzieller Ergebnisse von Veränderungen.
- Automatisierung von Managementprozessen und Ressourcenoptimierung: Verbesserung der Prozesseffizienz, Kostensenkung und Beschleunigung von Entscheidungsprozessen.
- Erkennung versteckter Zusammenhänge zwischen Systemkomponenten: Analyse struktureller und funktionaler Abhängigkeiten zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit.
- Entscheidungsunterstützung basierend auf realen Daten und maschinellen Lernmodellen: Integration von KI-Algorithmen in strategische und operative Managementprozesse.

Die Integration von KI und Big Data in der Innovationsentwicklung beschleunigt Entscheidungsprozesse, reduziert Risiken und gewährleistet die Anpassungsfähigkeit komplexer Systeme in dynamischen Umgebungen.

Anwendung von KI in der Ukraine

In der Ukraine wird KI angewendet in:

- Verteidigung und Sicherheit: autonome UAVs, Überwachungssysteme und Datenanalysen.
- Gesundheitswesen: Diagnostik, personalisierte Behandlung und Management medizinischer Daten.
- Energie: Optimierung von Energieversorgungsnetzen und Prognose von Nachfrageentwicklungen.
- Bildung: adaptive Lernsysteme und intelligente Assistenten.

Herausforderungen und Perspektiven

- Ethische Aspekte: Gewährleistung von Transparenz und Fairness der Algorithmen, Vermeidung von Verzerrungen.

- Regulierung: Entwicklung nationaler und internationaler Standards für den KI-Einsatz.
- Infrastruktur: Bedarf an Rechenressourcen und qualifizierten Fachkräften.

Perspektiven umfassen die Integration mit IoT- und 5G-Technologien, die Entwicklung von Smart Cities, Industrie 4.0 sowie die Unterstützung von Innovationsprozessen in komplexen Systemen.

Praktische Anwendungen

Energiesektor

Innovation in komplexen Energiesystemen konzentriert sich auf die Integration erneuerbarer Energiequellen mit Speichersystemen und intelligenten Netzen. Dieser Ansatz ermöglicht:

- Gewährleistung einer kontinuierlichen Energieversorgung;
- Optimierung des Gleichgewichts zwischen Produktion und Verbrauch;
- Reduzierung der Abhängigkeit von traditionellen Energiequellen;
- Steigerung der Systemresilienz gegenüber externen Schocks und unvorhersehbaren Veränderungen.

Der Einsatz von Big-Data- und KI-Algorithmen ermöglicht die Prognose von Verbrauchsspitzen, die Steuerung der Energieverteilung in Echtzeit und die Verbesserung der Gesamteffizienz des Energiesystems. Die Integration dieser Technologien spiegelt einen interdisziplinären Ansatz wider, der ingenieurtechnische Lösungen, Informationstechnologie und wirtschaftliche Planung kombiniert, um adaptive und leistungsfähige Systeme zu schaffen.

Verteidigung

In militärischen Systemen zielen Innovationen primär darauf ab, die Resilienz, den Schutz und die operative Effizienz kritischer Ressourcen zu erhöhen. Moderne Verteidigungstechnologien umfassen mehrere miteinander verbundene Bereiche, die Ingenieurwesen, Informationstechnologie, Materialwissenschaften und fortschrittliche Managementsysteme integrieren. Wichtige Innovationen sind:

- Thermische Tarnung – Entwicklung und Anwendung spezialisierter Materialien und Beschichtungen, die Infrarotstrahlung reduzieren und die Sichtbarkeit von Objekten für Drohnen und Wärmebildsysteme verringern. Solche Materialien nutzen oft adaptive oder bio-inspirierte Eigenschaften, um dynamisch auf Umweltveränderungen zu reagieren und die Überlebensfähigkeit unter unterschiedlichen Einsatzbedingungen zu erhöhen.
- Anti-Drohnen-Systeme – Hardware- und Softwarelösungen zur Erkennung, Verfolgung und Neutralisierung unbemannter Luftfahrzeuge (UAVs) in kritischen Bereichen. Sie nutzen Radar, Funkfrequenzsensoren, maschinelle Lernalgorithmen und automatisierte Steuerungsoberflächen, um Bedrohungen in Echtzeit zu bewerten und darauf zu reagieren.

- Cybersicherheit – Integration von Netz- und Informationstechnologien zum Schutz sensibler Daten und zur Sicherstellung der zuverlässigen Steuerung komplexer Verteidigungssysteme. Innovationen umfassen fortgeschrittene Verschlüsselung, Anomalieerkennung und prädiktive Bedrohungsmodelle, um unbefugten Zugriff zu verhindern und die Betriebs-kontinuität zu gewährleisten.

Die Anwendung multidisziplinärer Ansätze in der Verteidigungsinnovation bietet strategische, operative und technologische Vorteile. Durch die Integration von Prinzipien aus Ingenieurwesen, Informations- und Kommunikationstechnologien, Materialwissenschaften und Systemkontrolle erzielen Verteidigungsorganisationen verbessertes Situationsbewusstsein, operative Effizienz und Resilienz gegenüber konventionellen sowie neuen Bedrohungen. Die Konvergenz dieser Disziplinen erleichtert die Entwicklung technisch anspruchsvoller, anpassungsfähiger Lösungen für die dynamische Natur moderner militärischer Umgebungen.

Darüber hinaus verstärkt die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) und Big-Data-Analysen in Verteidigungssysteme deren Leistungsfähigkeit erheblich. Diese Technologien ermöglichen prädiktive Modellierung, Echtzeit-Bedrohungsbewertung, optimierte Ressourcenzuteilung und adaptive Reaktionsstrategien. Entscheidungsträger erhalten so robuste analytische Werkzeuge, die fundierte, zeitgerechte und effektive Interventionen in hochriskanten operativen Kontexten erlauben.

Auf Grundlage dieser integrierten Perspektive können Struktur und Interaktionen dieser multidisziplinären Innovationen mittels eines Blockdiagramms visualisiert werden. Dieses Diagramm veranschaulicht die geschichteten und voneinander abhängigen Komponenten moderner Verteidigungssysteme und bietet einen klaren Rahmen für Analyse und praktische Umsetzung (Abbildung 2).

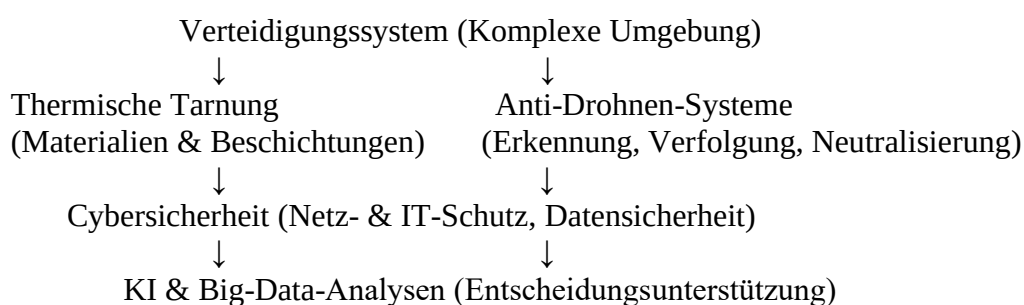


Abbildung 2. Multidisziplinäre Innovationen in Verteidigungssystemen
Quelle: Eigene Darstellung

Beschreibung:

- Thermische Tarnung – Spezialmaterialien und Beschichtungen reduzieren die Infrarot-Signatur von Objekten, verringern deren Erkennbarkeit durch Drohnen und Wärmebildsysteme und erhöhen so die Stealth-Fähigkeiten im Einsatz.

- Anti-Drohnen-Systeme – integrierte Hardware- und Softwarelösungen zur Erkennung, Verfolgung und Neutralisierung unbemannter Luftfahrzeuge in sensiblen Bereichen, zum Schutz von Personal und Infrastruktur.
- Cybersicherheit – umfassender Schutz vernetzter Systeme und sensibler Daten, Gewährleistung sicherer Kommunikation, operativer Kontinuität und Integrität der Befehls- und Steuerungsprozesse.
- KI & Big-Data-Analysen – fortgeschrittene Algorithmen analysieren umfangreiche Datensätze aus mehreren Quellen, liefern prädiktive Einsichten, unterstützen Entscheidungen in Echtzeit und ermöglichen adaptive Reaktionsstrategien auf sich entwickelnde Bedrohungen.

Dieses integrierte Blockdiagramm zeigt, wie multidisziplinäre Innovationen synergistisch wirken und ein geschichtetes Verteidigungssystem schaffen, das Situationsbewusstsein, operative Effizienz und Resilienz gegenüber konventionellen und neuen Bedrohungen erhöht. Die Darstellung betont die entscheidende Bedeutung der Verbindung technischer, informationeller und analytischer Dimensionen für eine kohärente und robuste Verteidigungsstrategie.

Städtische Ökologie

Innovative Ansätze in der städtischen Ökologie zielen in erster Linie darauf ab, die Resilienz von Städten zu erhöhen und die Lebensqualität ihrer Bewohner zu verbessern. Diese Ansätze zeichnen sich durch die Integration technischer, ökologischer und sozialer Lösungen aus und spiegeln eine multidisziplinäre Strategie wider, die Erkenntnisse aus Ökologie, Ingenieurwesen, Stadtplanung und Informationstechnologien kombiniert. Die zentralen Anwendungsbereiche umfassen:

- Abfallmanagement – Modernes städtisches Abfallmanagement beinhaltet die Integration fortschrittlicher Systeme zur Quelltrennung, zum Recycling und zur Bioenergieproduktion. Durch die Umsetzung geschlossener Kreisläufe können Städte die Belastung von Deponien erheblich reduzieren und gleichzeitig zusätzliche Ressourcen, wie Biogas oder Biokraftstoffe, aus organischen Abfällen gewinnen. Der Einsatz intelligenter Technologien, einschließlich Sensoren, Datenanalytik und automatisierter Sortiersysteme, optimiert die Betriebseffizienz weiter, minimiert Umweltbelastungen und trägt zur Kreislaufwirtschaft bei.
- Minderung städtischer Wärmeinseln – Urbane Räume weisen häufig erhöhte Temperaturen auf, bedingt durch die Konzentration bebauter Infrastrukturen, ein Phänomen, das als „städtischer Wärmeinseleffekt“ bekannt ist. Innovative Lösungen zur Reduzierung thermischen Stresses umfassen die Installation von Grünflächen auf Dächern und Fassaden, reflektierende und hochalbedofähige Oberflächen sowie die Integration von Vegetationskorridoren und

wasserempfindlichen städtischen Gestaltungsmerkmalen. Diese Strategien senken nicht nur die Umgebungstemperaturen, sondern verbessern auch die Luftqualität in Städten, fördern die Biodiversität und steigern das soziale Wohlbefinden, indem komfortablere Mikroklimata für die Bewohner geschaffen werden [9].

- Bioenergie und Nutzung erneuerbarer Ressourcen – Die Produktion von Bioenergie aus organischen Abfällen und Pflanzenbiomasse stellt einen entscheidenden Bestandteil nachhaltiger Stadtentwicklung dar. Durch die kontrollierte Umwandlung organischer Materialien in Biogas, Biokraftstoffe oder andere Energieformen können Städte die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern verringern, Treibhausgasemissionen reduzieren und Energieautarkie fördern. Die Integration der Bioenergieproduktion in die Stadtplanung erfordert interdisziplinäre Koordination, einschließlich Abfalltechnik, chemischer und biologischer Verarbeitung sowie Echtzeit-Energiemanagement unter Nutzung von Informationstechnologien.

Insgesamt zeigen diese innovativen Ansätze der städtischen Ökologie, wie komplexe Systeme von einem multidisziplinären Ansatz profitieren, der Umwelttechnik, Stadtplanung und fortschrittliche technologische Lösungen kombiniert. Durch die Umsetzung dieser Strategien verbessern Städte nicht nur die ökologische Nachhaltigkeit, sondern schaffen auch adaptive, resiliente und lebenswerte urbane Räume, die auf kontinuierliche klimatische, soziale und technologische Veränderungen reagieren können.

Inklusion und Barrierefreiheit

Innovationen in komplexen Systemen spielen eine entscheidende Rolle bei der Förderung von Inklusion und Barrierefreiheit, indem sichergestellt wird, dass urbane, Bildungs- und soziale Infrastrukturen den vielfältigen Bedürfnissen aller Menschen, einschließlich Menschen mit Behinderungen, gerecht werden. Moderne Ansätze zur Inklusion sind von Natur aus multidisziplinär und vereinen Erkenntnisse aus Ingenieurwesen, Informationstechnologien, Sozialwissenschaften und Pädagogik, um adaptive, resiliente und zugängliche Systeme zu schaffen. Zentrale Anwendungsbereiche umfassen:

- Zugängliche physische und digitale Umgebungen – Die Gestaltung und Implementierung inklusiver öffentlicher Räume und digitaler Dienste ist entscheidend, um Menschen mit unterschiedlichen Fähigkeiten eine volle Teilnahme an sozialen, bildungsbezogenen und wirtschaftlichen Aktivitäten zu ermöglichen. Dies beinhaltet die Integration von Prinzipien des universellen Designs, assistiven Technologien und intelligenter Infrastruktur, die Mobilität, Navigation und unabhängigen Zugang unterstützen [10].

- Adaptive Bildungsplattformen – Technologische Innovationen ermöglichen die Entwicklung personalisierter und adaptiver Lernsysteme, die individuelle Bedürfnisse, Lernstile und kognitive Fähigkeiten berücksichtigen. Diese Plattformen nutzen fortschrittliche Analytik, Algorithmen des maschinellen Lernens und interaktive Schnittstellen, um maßgeschneiderte Bildungsinhalte bereitzustellen, Fortschritte zu überwachen und zeitnahes Feedback zu geben, wodurch die Lernergebnisse von Schülern mit unterschiedlichen Fähigkeiten verbessert werden.
- Überwachung und Unterstützung von Mobilität und sozialer Integration – Die Integration sensorbasierter Technologien, Kommunikationsnetze und Informationssysteme ermöglicht die kontinuierliche Überwachung von Mobilitätsmustern, Gesundheit und sozialer Teilhabe von Menschen mit Behinderungen. Solche Lösungen erleichtern die frühzeitige Erkennung potenzieller Herausforderungen, unterstützen ein selbstständiges Leben und fördern die soziale Teilhabe. Gleichzeitig ermöglichen sie Politikern und Stadtplanern datengestützte Entscheidungen, um Barrierefreiheit und Inklusion auf systemischer Ebene zu optimieren.

Die praktische Umsetzung dieser Innovationen verdeutlicht die Wirksamkeit eines multidisziplinären Ansatzes bei der Bewältigung komplexer gesellschaftlicher Herausforderungen. Durch die Kombination technischer, sozialer und ökologischer Aspekte verbessern solche integrierten Lösungen die Effizienz, Sicherheit und Resilienz komplexer Systeme, fördern gleichzeitig gleichberechtigten Zugang und schaffen inklusive urbane und Bildungsumgebungen. Diese Ansätze steigern nicht nur die Lebensqualität von Individuen, sondern tragen auch zur Entwicklung nachhaltiger, adaptiver und sozial verantwortlicher Systeme in sich schnell verändernden Umgebungen bei.

Herausforderungen und Perspektiven

Risiken der Wissensfragmentierung ohne Integration

Eine der zentralen Herausforderungen bei der Entwicklung und Implementierung von Innovationen in komplexen Systemen ist die Fragmentierung von Wissen über verschiedene Disziplinen und Sektoren hinweg. Fehlen effektive Integrationsmechanismen, kann eine solche Fragmentierung zu Doppelarbeit, Unterausnutzung vorhandener Expertise und der Entstehung suboptimaler oder fehlerhafter Lösungen führen. Dieses Problem ist besonders ausgeprägt in Systemen mit hoher Komplexität, in denen die Interaktionen zwischen Komponenten indirekt, nichtlinear und häufig dynamisch sind. Fehler oder Ineffizienzen auf einer Ebene können sich daher ausbreiten und Kaskadeneffekte im gesamten System erzeugen.

Die Konsequenzen der Wissensfragmentierung gehen über bloße Ineffizienz hinaus. Sie können die Identifikation kritischer Abhängigkeiten erschweren, die

adaptive Kapazität des Systems verringern und das Potenzial für innovative Durchbrüche einschränken. In multidisziplinären Umgebungen können unkoordinierte Forschungs- und Entwicklungsbemühungen zu widersprüchlichen Methoden, inkompatiblen Technologien und Lücken sowohl bei der Datenerhebung als auch bei analytischen Rahmenwerken führen. Solche Lücken beeinträchtigen die Fähigkeit von Entscheidungsträgern, ein ganzheitliches Verständnis des Systems zu erlangen, und erhöhen somit Risiken in strategischer Planung, operativem Management und Politikgestaltung.

Die Bewältigung dieser Risiken erfordert strukturierte Ansätze zur Wissensintegration, einschließlich disziplinübergreifender Zusammenarbeit, gemeinsamer Plattformen für den Austausch von Daten und Erkenntnissen sowie der Nutzung systemischer Denkmodelle. Werkzeuge wie Ontologien, integrierte Modellierungsumgebungen und kollaborative Projektmanagementmethoden helfen, unterschiedliche Expertisen zu synthetisieren und kohärente Innovationsstrategien zu entwickeln. Darüber hinaus kann die Integration fortschrittlicher Informationstechnologien, einschließlich künstlicher Intelligenz und Big-Data-Analytik, die Koordination von Wissensflüssen verbessern und Echtzeit-Entscheidungen unterstützen, wodurch Fragmentierung reduziert und die Resilienz, Anpassungsfähigkeit sowie Gesamteffektivität komplexer Systeme gesteigert werden.

Die Entwicklung effektiver Strategien zur Minderung von Wissensfragmentierung stellt sowohl eine bedeutende Herausforderung als auch eine zentrale Chance dar, die Innovationsfähigkeit komplexer Systeme nachhaltig zu stärken. Durch die Förderung interdisziplinärer Integration können Organisationen und Gemeinschaften sicherstellen, dass Innovationen nicht nur technisch fundiert, sondern auch gesellschaftlich relevant, ökologisch nachhaltig und anpassungsfähig an sich verändernde Kontexte und unvorhergesehene Störungen sind.

Die Herausforderung der Harmonisierung regulatorischer und technischer Standards

Eine weitere bedeutende Herausforderung bei der Förderung von Innovationen in komplexen Systemen liegt in der Harmonisierung regulatorischer Rahmenbedingungen und technischer Standards über verschiedene Sektoren hinweg. Verschiedene Branchen arbeiten häufig nach eigenen technischen Normen, Sicherheitsvorschriften und Compliance-Protokollen, die inkonsistent, widersprüchlich oder sogar gegenseitig ausschließend sein können. Solche Unterschiede stellen erhebliche Hindernisse für die Integration innovativer Lösungen dar, insbesondere wenn komplexe Systeme die Zusammenarbeit von

Regierungsbehörden, Unternehmen und zivilgesellschaftlichen Organisationen erfordern.

Fehlende Standardisierung kann die Interoperabilität beeinträchtigen, das Fehlerrisiko erhöhen und die Gesamteffizienz des Systembetriebs verringern. Beispielsweise können unterschiedliche technische Spezifikationen von Komponenten oder Teilsystemen die Integration kostenintensiv, zeitaufwendig und fehleranfällig machen. Darüber hinaus können regulatorische Inkonsistenzen die Einführung neuer Technologien erschweren, da gesetzliche Anforderungen und Sicherheitszertifizierungen zwischen Sektoren und Jurisdiktionen variieren. Diese Herausforderungen verstärken sich in Systemen mit hoher Vernetzung und dynamischen Interaktionen, in denen die Nichterfüllung eines Standards durch eine Komponente kaskadierende Effizienzverluste oder kritische Systemausfälle verursachen kann.

Die Lösung dieses Problems erfordert einen koordinierten Ansatz, der die Angleichung technischer Standards, die Entwicklung sektorübergreifender regulatorischer Rahmenwerke und die Implementierung adaptiver Governance-Modelle umfasst. Mechanismen wie interbehördliche Arbeitsgruppen, internationale Standardübernahmen und kooperative Zertifizierungsprozesse erleichtern die Vereinbarkeit divergierender Anforderungen und fördern Kohärenz zwischen den Systemkomponenten. Darüber hinaus kann die Integration digitaler Plattformen für Echtzeitüberwachung, Compliance-Überprüfung und Standardisierungstransparenz die Transparenz erhöhen, Konflikte reduzieren und eine agilere Innovationsimplementierung ermöglichen.

Die Harmonisierung technischer und regulatorischer Standards ist nicht nur eine prozedurale Notwendigkeit, sondern ein strategischer Enabler für die erfolgreiche Umsetzung interdisziplinärer Innovationen. Durch die Sicherstellung von Kompatibilität, Sicherheit und betrieblicher Effizienz über komplexe Systeme hinweg stärken harmonisierte Standards die Fähigkeit von Organisationen, nachhaltig zu innovieren, während Risiken technischer Inkompatibilität, regulatorischer Verstöße und fragmentierter Systemleistung minimiert werden. Angesichts sich schnell verändernder technologischer, sozialer und ökologischer Rahmenbedingungen wird diese Angleichung zu einem Eckpfeiler für die Entwicklung resilenter, adaptiver und integrierter Systeme.

Die Notwendigkeit neuer Formen sektorenübergreifender Partnerschaften

Die erfolgreiche Implementierung von Innovationen in komplexen Systemen hängt zunehmend von proaktiver und strategischer Zusammenarbeit über mehrere Sektoren hinweg ab, einschließlich öffentlicher Institutionen, privater Unternehmen, akademischer und Forschungseinrichtungen sowie Organisationen der Zivilgesellschaft. Solche sektorenübergreifenden Partnerschaften sind essenziell,

um Ressourcen zu bündeln, unterschiedliche Kompetenzen zu konsolidieren und kollektive Expertise zu nutzen. Durch die Integration von Wissen und Fähigkeiten aus verschiedenen Bereichen erhöhen diese Partnerschaften die Skalierbarkeit, Nachhaltigkeit und Effektivität innovativer Lösungen.

Neue Formen sektorenübergreifender Zusammenarbeit umfassen gemeinsame Forschungsplattformen, Innovations-Hubs, kollaborative Netzwerke und Multi-Stakeholder-Koalitionen, die Wissensaustausch und koordinierte Problemlösungen ermöglichen. Gemeinsame Forschungsplattformen bieten beispielsweise geteilte Infrastrukturen, Rechenressourcen und Datensätze, die interdisziplinären Teams die effizientere Entwicklung und Erprobung von Innovationen ermöglichen. Innovations-Hubs fungieren als Katalysatoren für Experimente, unterstützen Start-ups, Pilotprojekte und Technologietransferaktivitäten, die Lücken zwischen Forschung und praktischer Anwendung überbrücken. Multi-Stakeholder-Koalitionen fördern zudem die Abstimmung regulatorischer Rahmenbedingungen, technischer Standards und gesellschaftlicher Bedürfnisse, wodurch Innovationen sowohl technisch robust als auch gesellschaftlich akzeptabel werden.

Der Bedarf an solchen Partnerschaften ist besonders hoch in komplexen Systemen, in denen Herausforderungen vielschichtig und wechselseitig abhängig sind. Beispielsweise können in Projekten zur urbanen Nachhaltigkeit Kooperationen zwischen kommunalen Behörden, Energieversorgern, Universitäten und Nichtregierungsorganisationen die Umsetzung intelligenter Infrastrukturen, erneuerbarer Energielösungen und inklusiver Technologien beschleunigen. Ebenso erleichtern Partnerschaften im Gesundheitswesen zwischen medizinischen Einrichtungen, Technologieunternehmen und Forschungslaboren die Integration digitaler Gesundheitstools, Telemedizinplattformen und adaptiver Versorgungsmodelle, die effektiv auf die vielfältigen Bedürfnisse von Patientinnen und Patienten eingehen.

Über die operative Effizienz hinaus fördern sektorenübergreifende Partnerschaften Resilienz und Anpassungsfähigkeit komplexer Systeme. Durch kontinuierliche Feedback-Schleifen, Echtzeit-Datenaustausch und gemeinsame Entscheidungsprozesse reduzieren diese Kooperationen Risiken im Zusammenhang mit Unsicherheit, Ressourcenbeschränkungen und technologischen Disruptionen. Darüber hinaus fördern sie die Diffusion von Innovationen über Sektoren hinweg, wodurch Best Practices und erfolgreiche Lösungen repliziert und an neue Kontexte angepasst werden.

Zusammenfassend ist die Entwicklung neuer Formen sektorenübergreifender Partnerschaften nicht lediglich eine unterstützende Maßnahme, sondern ein strategisches Gebot für den Fortschritt interdisziplinärer Innovationen. Durch die Schaffung von Rahmenwerken, die Ressourcen, Wissen und Expertise über

institutionelle Grenzen hinweg bündeln, stärken solche Partnerschaften die Fähigkeit komplexer Systeme, auf dynamische Umwelt-, Sozial- und Technologieentwicklungen zu reagieren und gleichzeitig nachhaltige und inklusive Entwicklungen zu fördern.

Perspektiven für die Entwicklung universeller Plattformen für multidisziplinäre Innovationen

Eine der zentralen Perspektiven für den Fortschritt von Innovationen in komplexen Systemen ist die Entwicklung universeller, integrativer Plattformen, die den Austausch zwischen Spezialisten aus unterschiedlichen Disziplinen erleichtern, automatisierte Datenanalysen ermöglichen und die Steuerung von Innovationsprozessen unterstützen. Diese Plattformen dienen als kollaborative Infrastrukturen, die technologische, analytische und organisatorische Werkzeuge integrieren und so ein einheitliches Umfeld für interdisziplinäre Problemlösungen schaffen.

Solche universellen Plattformen können mehrere entscheidende Komponenten umfassen:

- Digitale Kollaborations-Hubs – virtuelle Umgebungen, die nahtlose Kommunikation und Wissensaustausch zwischen Expertinnen und Experten aus verschiedenen Bereichen ermöglichen und Co-Creation sowie interdisziplinäre Projektentwicklung fördern.
- Big-Data-Analytik und Szenariomodellierung – rechnergestützte Module, die umfangreiche Datensätze verarbeiten, potenzielle Ergebnisse simulieren und systemische Auswirkungen vorgeschlagener Innovationen bewerten.
- Adaptive Entscheidungsunterstützungssysteme auf Basis künstlicher Intelligenz (KI) – KI-gestützte Werkzeuge, die Prozesse optimieren, Risiken vorhersagen und Handlungsempfehlungen für strategische Maßnahmen liefern, wodurch die Genauigkeit und Geschwindigkeit von Entscheidungen in dynamischen Umgebungen erhöht werden.
- Standardisierte Integrationsmodule – interoperable Komponenten, die verschiedene Technologien und Methoden harmonisieren, technische Barrieren reduzieren und eine kohärente Implementierung über unterschiedliche Systemtypen hinweg sicherstellen.

Die Einrichtung solcher Plattformen adressiert eine der zentralen Herausforderungen der Innovationsentwicklung in komplexen Systemen: die Wissensfragmentierung. Durch die Bereitstellung eines gemeinsamen Rahmens für interdisziplinäre Zusammenarbeit reduzieren diese Plattformen Redundanzen, verbessern die Nutzung intellektueller Ressourcen und erleichtern die Umsetzung von Forschungsergebnissen in praktische Lösungen. Darüber hinaus erhöhen sie die Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit von Innovationen, wodurch eine schnelle

Implementierung in unterschiedlichen Kontexten ermöglicht wird – von urbaner Infrastruktur und Energiesystemen bis hin zu Gesundheitsnetzwerken und Umweltmanagement.

Zudem schaffen universelle Plattformen Möglichkeiten für kontinuierliches Lernen und iterative Verbesserung. Durch die Integration von Echtzeitüberwachung, Feedbackmechanismen und KI-gestützter Analytik können Organisationen Innovationsstrategien dynamisch verfeinern, auf neue Herausforderungen reagieren und die Systemleistung optimieren. Sie fördern zudem Transparenz und Reproduzierbarkeit, sodass innovative Praktiken bewertet, repliziert und sektorenübergreifend adaptiert werden können.

Abschließend stellt die Entwicklung universeller Plattformen für multidisziplinäre Innovationen einen transformativen Ansatz zur Bewältigung von Komplexität in modernen Systemen dar. Durch die Kombination technologischer Integration, datenbasierter Entscheidungsfindung und disziplinübergreifender Zusammenarbeit erhöhen solche Plattformen die Effektivität, Resilienz und Nachhaltigkeit komplexer Systeme und ebnen den Weg für beschleunigte Innovationen mit weitreichender gesellschaftlicher Wirkung.

Schlussfolgerung

Die Studie bestätigt, dass Innovationen in komplexen Systemen ihre höchste Effektivität durch einen multidisziplinären Ansatz erreichen. Die Integration von Wissen, Methoden und Technologien aus verschiedenen Fachbereichen verbessert die Anpassungsfähigkeit, Resilienz und die Gesamtleistung des Systems.

Zentrale Erkenntnisse umfassen:

- Gemeinsame systemische Muster: Trotz unterschiedlicher Domänen – technischer, sozialer, ökologischer, verteidigungs- und medizinischer Bereiche – teilen komplexe Systeme universelle Prinzipien der Innovationsentwicklung. Die Identifikation dieser Muster unterstützt den Transfer bewährter Praktiken und effizienter Innovationsstrategien über Sektoren hinweg.
- Synergie durch Integration: Disziplinübergreifende Zusammenarbeit vereint Ingenieurwesen, Informationstechnologie, Biologie und Sozialwissenschaften und verbessert die Vorhersagegenauigkeit, Effizienz sowie die Reaktionsfähigkeit auf menschliche und ökologische Bedürfnisse.
- Methodische Werkzeuge: Systemanalyse, Projektmanagement, kollaborative Plattformen und Big-Data-Analytik ermöglichen die systematische Integration von Innovationen, Überwachung von Auswirkungen und adaptives Management.
- Anwendungsbereiche: Multidisziplinäre Innovationen zeigen messbare Vorteile in Energiesystemen, Verteidigungstechnologien, urbaner Ökologie und inklusiven Umgebungen.

Herausforderungen bestehen weiterhin in der Harmonisierung von Standards, der Verringerung von Wissensfragmentierung und der Förderung sektorenübergreifender Partnerschaften. Die Lösung dieser Probleme gewährleistet kohärente, skalierbare und nachhaltige Innovationsprozesse.

Zusammenfassend bietet der multidisziplinäre Ansatz einen Rahmen zur Integration technischer, sozialer und ökologischer Dimensionen komplexer Systeme und stärkt Resilienz, Effizienz und Nachhaltigkeit über mehrere Domänen hinweg.

Literaturverzeichnis

1. Bar-Yam, Y. (1997). Dynamics of Complex Systems. Reading, MA: Addison-Wesley.
2. Helbing, D. (2013). Globally networked risks and how to respond. Nature, 497, 51–59.
3. Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. Proceedings of the American Philosophical Society, 106(6), 467–482.
4. Meadows, D. H. (2008). Thinking in Systems: A Primer. Chelsea Green Publishing.
5. Havryliuk, V. M. (2020). Systemanalyse im Kontext komplexer sozioökonomischer Prozesse. Bulletin der Nationalen Taras-Schewtschenko-Universität Kiew. Wirtschaftswissenschaften, 4(217), 11–18.
6. Carayannis, E. G., Campbell, D. F. J., & Rehman, S. S. (2021). Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems. Springer.
7. Zhang, H., Li, Y., & Wang, Z. (2023). Komplexe adaptive Systeme in der Verteidigungsinnovation. Defence Technology, 19(3), 342–355.
8. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2021). Eine Architektur cyber-physischer Systeme für Industrie-4.0-basierte Fertigungssysteme. Manufacturing Letters, 28, 24–30.
9. Melnyk, V., Shevchenko, R., & Bondarenko, L. (2020). Urbane Wärmeinseln: Minderungsstrategien und Klimaanpassung. Environmental Research Letters, 15(11), 1–15.
10. Tymoshenko, V. (2022). Digitale Barrierefreiheit für Menschen mit Behinderungen: Methoden und Technologien. Journal of Social Innovations, 14(1), 55–72.

[PT_6]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Inovações multidisciplinares em sistemas complexos

Resumo

Este artigo examina inovações em sistemas complexos utilizando uma abordagem multidisciplinar. O conceito de “sistema complexo” e sua classificação (técnico, social, ecológico, militar, médico) são analisados, assim como a interconexão de inovações e a sinergia do conhecimento entre diferentes áreas. São apresentadas abordagens metodológicas para o desenvolvimento de inovações em sistemas complexos, incluindo análise de sistemas, gestão de projetos e a integração de inteligência artificial e big data. Aplicações práticas em energia, defesa, ecologia urbana e inclusão são revisadas. São destacados os desafios e perspectivas para inovações multidisciplinares, incluindo fragmentação do conhecimento, padronização e parcerias intersetoriais. O artigo contribui com novidade teórica e valor prático para pesquisadores, desenvolvedores de tecnologia e gestores de sistemas complexos [1, 2].

Palavras-chave: Inovação em sistemas complexos, abordagem multidisciplinar, sistemas complexos, análise sistêmica, inteligência artificial, big data, ecologia urbana, tecnologias de defesa, inclusão

Introdução

Os sistemas complexos modernos são caracterizados por um alto grau de integração entre seus componentes e interdependência entre subsistemas técnicos, sociais, ecológicos e organizacionais. As inovações dentro desses sistemas desempenham um papel crucial, pois não apenas aumentam a eficiência, mas também garantem resiliência e adaptabilidade a condições mutáveis [1, 3].

A crescente complexidade dos objetos contemporâneos de estudo e gestão exige a adoção de uma abordagem multidisciplinar, que integra conhecimentos de diversas áreas, incluindo engenharia, tecnologia da informação, biologia, sociologia e gestão [2, 4]. Essa abordagem promove uma sinergia de competências, acelera a implementação de inovações e possibilita uma avaliação abrangente do desempenho

do sistema. Ao aproveitar percepções interdisciplinares, os stakeholders podem antecipar riscos sistêmicos, otimizar a alocação de recursos e aumentar a eficácia geral.

O objetivo deste estudo é investigar inovações em sistemas complexos por meio de uma abordagem multidisciplinar, definir as bases metodológicas para seu desenvolvimento e identificar áreas práticas de aplicação. Os objetivos do artigo incluem:

- Análise dos fundamentos teóricos dos sistemas complexos e sua classificação;
- Exame das metodologias para desenvolvimento de inovações em sistemas complexos;
- Revisão de aplicações práticas em diversos setores;
- Identificação dos principais desafios e perspectivas futuras para inovações multidisciplinares.

Este trabalho contribui com novidade científica ao fornecer uma perspectiva abrangente sobre os processos de inovação em sistemas complexos, destacando a integração intersetorial como motor de eficácia. Sua relevância prática está em orientar o desenvolvimento tecnológico em energia, defesa, ecologia urbana e soluções inclusivas, oferecendo assim um referencial para pesquisadores, profissionais e gestores de sistemas.

Bloco Teórico

Conceito de Sistemas Complexos

Um sistema complexo pode ser definido como um conjunto organizado de elementos inter-relacionados, capaz de funcionar como uma estrutura coerente e adaptativa, respondendo a mudanças contínuas no ambiente externo. Esses sistemas se distinguem por um alto grau de interdependência entre seus componentes, o que significa que uma alteração em um elemento pode se propagar por toda a rede, afetando outros elementos de forma direta e, às vezes, indireta.

Os sistemas complexos também apresentam comportamento não linear, em que a relação entre entradas e saídas não é proporcional, e pequenas mudanças podem gerar consequências desproporcionalmente grandes ou inesperadas. Outra característica essencial dos sistemas complexos é sua capacidade de autorregulação e comportamento emergente, permitindo que mantenham a estabilidade, reorganizem sua estrutura interna e otimizem o desempenho sob diferentes pressões externas.

A compreensão de sistemas complexos requer uma perspectiva multidisciplinar que integre conhecimentos de engenharia, tecnologia da informação, biologia, ciências sociais e gestão. Essa abordagem captura tanto as interações em nível micro de componentes individuais quanto os padrões macro que emergem dessas interações. Essa perspectiva holística facilita a identificação de nós críticos,

vulnerabilidades potenciais e oportunidades de inovação, permitindo o desenho, a implementação e o desenvolvimento sustentável de sistemas complexos.

Na pesquisa contemporânea, os sistemas complexos são comumente classificados de acordo com suas características funcionais e estruturais. Essa classificação fornece um arcabouço para compreender a diversidade dos sistemas complexos e destaca princípios gerais subjacentes ao seu desenvolvimento, adaptação e integração de soluções inovadoras em diferentes domínios (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação de Sistemas Complexos

Tipo de Sistema Complexo	Exemplos	Principais Características
Sistemas técnicos	Complexos industriais, redes de transporte e energia, linhas de produção automatizadas	Alto grau de integração de engenharia, dependência de infraestrutura física, escalabilidade
Sistemas sociais	Organizações, comunidades, redes econômicas e educacionais	Interações centradas no ser humano, normas sociais, estruturas organizacionais
Sistemas ambientais	Paisagens naturais, ecossistemas urbanos, complexos de bioenergia	Dependência do equilíbrio ecológico, considerações de sustentabilidade
Sistemas médicos	Serviços de saúde, centros de reabilitação, sistemas de monitoramento remoto de pacientes	Integração de componentes clínicos, tecnológicos e organizacionais

Fonte: Elaboração do autor

Essa classificação ilustra que, embora cada tipo de sistema complexo possua características estruturais e funcionais distintas, os padrões gerais de desenvolvimento, implementação de inovações e gestão adaptativa permanecem similares. Isso possibilita a aplicação de uma abordagem multidisciplinar em seu estudo e aplicação prática [5].

A classificação evidencia que, apesar de sua natureza diversa, os sistemas complexos compartilham princípios comuns de desenvolvimento e implementação de inovações. Essa universalidade permite a aplicação de uma abordagem multidisciplinar, que combina expertise em engenharia, tecnologia da informação, biologia, sociologia e gestão para alcançar maior eficiência e resiliência.

Principais Características dos Sistemas Complexos:

- Interdependência: Componentes influenciam-se mutuamente; pequenas mudanças podem se propagar pelo sistema.
- Não linearidade: Saídas não são proporcionais às entradas, exigindo estratégias adaptativas.
- Autorregulação: Existem mecanismos para manter a estabilidade frente a perturbações externas.

- Adaptatividade: Capacidade de responder a mudanças ambientais e condições evolutivas.

A compreensão e classificação dos sistemas complexos são essenciais para o projeto e desenvolvimento de inovações eficazes, permitindo que pesquisadores e profissionais direcionem intervenções a pontos críticos e assegurem integração otimizada entre diferentes tipos de sistemas.

Relação entre Inovação e Multidisciplinaridade

A inovação em sistemas complexos geralmente ultrapassa os limites de uma única disciplina. A implementação eficaz de novas tecnologias, métodos de gestão ou soluções organizacionais requer a integração de conhecimentos e competências de diferentes áreas, o que aumenta a adaptabilidade dos sistemas às condições ambientais dinâmicas.

Uma abordagem multidisciplinar possibilita:

- melhorar a precisão na previsão das consequências da inovação;
- realizar uma avaliação abrangente de riscos e benefícios em perspectiva de longo prazo;
- acelerar a adaptação do sistema a fatores imprevisíveis, especialmente durante crises ou desafios em tempos de guerra;
- criar sinergias de conhecimento que fortaleçam o potencial intelectual de pesquisadores, desenvolvedores e gestores [6].

Dependendo do domínio de aplicação, a multidisciplinaridade assume diferentes formas:

- Sistemas técnicos: a integração de soluções de engenharia e digitais melhora eficiência e resiliência;
- Sistemas sociais: a combinação de gestão e ciências da comunicação forma novos modelos de interação comunitária e organizacional;
- Sistemas ecológicos: a colaboração entre ciências ambientais e econômicas garante equilíbrio entre eficiência e conservação de recursos;
- Sistemas militares: a sinergia de tecnologias de vigilância, camuflagem e gestão permite proteção em múltiplos níveis [7];
- Sistemas médicos: a integração de práticas clínicas, plataformas digitais e soluções de bioengenharia melhora a qualidade do tratamento e o monitoramento de pacientes.

Sinergia do Conhecimento entre Diferentes Disciplinas: Engenharia + TI + Biologia + Sociologia

A sinergia do conhecimento em um contexto multidisciplinar refere-se à combinação de métodos e abordagens de diferentes domínios científicos para alcançar resultados que seriam impossíveis dentro do escopo de uma única

disciplina. Essa integração gera novo valor intelectual, acelera processos de inovação e sustenta a resiliência dos sistemas complexos.

Por exemplo:

- Engenharia: fornece a base para criação de soluções físicas e técnicas, desde infraestrutura até materiais avançados;
- Engenharia: fornece a base para criação de soluções físicas e técnicas, desde infraestrutura até materiais avançados;
- Biologia: contribui com conhecimentos sobre mecanismos adaptativos, soluções biomiméticas e eficiência energética, inspirando inovações sustentáveis;
- Sociologia: auxilia na compreensão de aspectos comportamentais e organizacionais da interação humana com sistemas, promovendo inclusão e sustentabilidade social [9].

A integração desses domínios disciplinares estabelece uma base robusta para a inovação, permitindo que sistemas complexos abordem simultaneamente eficiência técnica, adaptação ambiental e relevância social. Ao combinar conhecimentos e métodos de múltiplas áreas, é possível criar soluções que não apenas sejam funcionalmente eficazes, mas também resilientes a mudanças e desafios imprevistos. Essa sinergia interdisciplinar garante que os sistemas complexos mantenham sustentabilidade, flexibilidade operacional e alta produtividade no contexto de rápidos avanços tecnológicos e necessidades sociais em evolução [5].

A integração da engenharia, tecnologia da informação, biologia e sociologia cria uma base sólida para o desenvolvimento de inovações que, simultaneamente, aumentam a eficiência técnica, a sustentabilidade ambiental e a relevância social. Ao combinar metodologias específicas de cada domínio — como engenharia de sistemas, ciência de dados, design biomimético e análise sociocomportamental —, equipes multidisciplinares podem abordar problemas a partir de ângulos complementares, revelando pontos de alavancagem que permanecem invisíveis em estudos de uma única disciplina. Essa sinergia multidimensional permite que sistemas complexos mantenham alta adaptabilidade, resiliência e produtividade operacional, especialmente em contextos caracterizados por rápido avanço tecnológico e necessidades sociais em evolução.

Além disso, esse trabalho integrativo apoia a tomada de decisão baseada em evidências ao alinhar modelos quantitativos com percepções qualitativas, melhorando tanto os resultados operacionais de curto prazo quanto o planejamento estratégico de longo prazo. Ao aproveitar expertises complementares, abordagens multidisciplinares podem antecipar comportamentos emergentes, otimizar o desempenho do sistema e gerar soluções escaláveis e sensíveis ao contexto.

A crescente interconexão entre essas disciplinas evidencia a importância de metodologias coordenadas, em que cada área contribui com ferramentas analíticas

distintas, perspectivas teóricas e técnicas aplicadas. Tal integração não apenas promove a inovação em nível sistêmico, mas também facilita a tradução do conhecimento científico em resultados práticos e socialmente benéficos. Essa síntese é especialmente crítica na transição para paradigmas tecnológicos sustentáveis e centrados no ser humano.

Contribuições específicas de cada disciplina para a inovação em sistemas complexos (Tabela 2)

Tabela 2. Contribuição das disciplinas para a inovação em sistemas complexos

Disciplina	Contribuição principal para a inovação	Exemplo de aplicação
Engenharia	Desenvolvimento de soluções físicas e técnicas	Armazenamento de energia renovável, robótica
TI	Automação de processos, simulação, análise de big data	Cidades inteligentes, sistemas ciber-físicos
Biologia	Abordagens biomiméticas, eficiência energética, adaptabilidade	Materiais bioinspirados, tecnologias verdes
Sociologia	Aspectos comportamentais e organizacionais, inclusão	Governança participativa, e-health

Fonte: Elaboração do autor

Bloco Metodológico

Abordagens para o Desenvolvimento de Inovações em Sistemas Complexos

O desenvolvimento de inovações em sistemas complexos requer uma abordagem sistêmica e multinível, que considere tanto as características internas do sistema quanto as influências externas. As principais estratégias metodológicas incluem:

- Abordagem sistêmica – considerar o sistema como uma entidade holística que leva em conta a interação de todos os componentes. Isso permite identificar pontos críticos, prever o comportamento de longo prazo e modelar as consequências da implementação de inovações.
- Abordagem evolutiva – melhoria gradual do sistema por meio da integração de mudanças inovadoras controladas. Esse processo em etapas reduz riscos, facilita avaliações intermediárias e aumenta a confiabilidade.
- Abordagem adaptativa – reação flexível a fatores externos, incluindo tecnológicos, sociais, ecológicos e de segurança. Permite a rápida correção de decisões e a integração de novas ferramentas em condições de incerteza.
- Abordagem baseada em cenários – utilização de modelos preditivos e cenários alternativos de desenvolvimento. Isso ajuda a testar diferentes trajetórias de mudança e determinar o curso de ação ideal.

Métodos de Integração

A integração de conhecimentos e soluções provenientes de diversas disciplinas constitui um fator-chave para o sucesso das inovações multidisciplinares. Os principais métodos incluem:

- Análise de sistemas – avaliação da estrutura, funções e interconexões dos componentes. Permite identificar zonas de alto impacto para inovações e prever os efeitos sistêmicos.
- Gestão de projetos – planejamento, organização, monitoramento e controle da implementação de projetos.
- Plataformas interdisciplinares – ambientes digitais e organizacionais para colaboração entre especialistas de diferentes áreas, promovendo a rápida troca de conhecimento, modelagem coletiva e teste acelerado de soluções inovadoras.
- Modelagem e simulação – utilização de gêmeos digitais, modelos matemáticos e computacionais para testar soluções em um ambiente virtual antes da implementação.
- Análise SWOT e de riscos – avaliação estruturada de pontos fortes, fraquezas, oportunidades e ameaças, permitindo prever os resultados das inovações e mitigar efeitos negativos.

Modelo Formalizado

O processo de inovação em sistemas complexos pode ser formalizado para refletir sua natureza intrinsecamente multidisciplinar, capturando as interdependências entre fatores ambientais, sociais, econômicos e tecnológicos. Uma representação matemática permite a análise sistemática e a quantificação da influência de cada fator no nível geral de inovação do sistema. A relação pode ser expressa da seguinte forma (Fórmula 1):

$$I = \alpha E^{\beta} S o^{\gamma} E c^{\delta} T^{\epsilon} \quad (1)$$

Onde:

I - nível de inovação do sistema;

E - fatores técnicos/engenharia;

So - fatores sociais;

Ec - fatores ambientais;

T - soluções tecnológicas;

α - fator de escala;

$\beta, \gamma, \delta, \epsilon$ – coeficientes de influência de cada fator sobre a inovação.

Fonte: Elaboração do autor

Este modelo formalizado fornece uma base estruturada para o desenho, avaliação e otimização de inovações, garantindo que todas as dimensões críticas dos sistemas complexos sejam consideradas de forma coesa e quantitativa. Ao quantificar a influência de diferentes domínios, pesquisadores e profissionais podem identificar áreas prioritárias para intervenção e prever os resultados de potenciais inovações em diversos cenários.

Com base nessa representação formalizada, a metodologia de desenvolvimento de inovações pode ser conceitualmente visualizada por meio de um diagrama de

blocos. Este diagrama ilustra as etapas sequenciais e interdependentes do processo de inovação, fornecendo um quadro claro tanto para análise quanto para implementação prática.

Essa ferramenta visual aprimora a compreensão do fluxo de trabalho, esclarece as relações entre as etapas metodológicas e apoia o planejamento sistemático das intervenções (Figura 1).

Ordem atual das etapas:

1. Dados de Entrada
 - Desempenho ambiental, social, econômico e tecnológico
2. Etapa 1: Análise de Sistemas
 - Identificação das relações estruturais
 - Identificação de pontos críticos
3. Etapa 2: Integração de Métodos
 - Gestão de Projetos (PMBOK, Agile)
 - Plataformas interdisciplinares
 - Modelagem e Simulação
4. Etapa 3: Modelagem de Cenários
 - Cenários alternativos de desenvolvimento
 - Gêmeo Digital, previsão
5. Etapa 4: Avaliação de Riscos
 - Análise SWOT
 - Avaliação de oportunidades e ameaças
6. Resultados de Saída
 - Soluções inovadoras prontas
 - Recomendações para implementação prática

Figura 1. Metodologia de Desenvolvimento de Inovações em Sistemas Complexos

Fonte: Elaboração do autor

Essa abordagem integrada, combinando modelagem matemática formalizada com etapas metodológicas estruturadas, fornece um caminho abrangente para o desenvolvimento sistemático, teste e implementação de inovações em sistemas complexos e multidisciplinares. Ela possibilita tanto uma avaliação quantitativa rigorosa quanto orientação prática para tomadores de decisão, garantindo que as inovações estejam efetivamente alinhadas aos objetivos técnicos, sociais, ambientais e tecnológicos.

Inteligência Artificial e Big Data em Sistemas Complexos

Definição e Conceitos-Chave

A Inteligência Artificial (IA) é um campo da ciência da computação voltado para a criação de sistemas capazes de executar tarefas que normalmente requerem inteligência humana, como aprendizado, reconhecimento de padrões, tomada de decisão e processamento de linguagem natural. Principais subáreas incluem

aprendizado de máquina, aprendizado profundo, processamento de linguagem natural e visão computacional.

Big Data refere-se à coleta, processamento e análise de volumes massivos de informações estruturadas e não estruturadas, permitindo a identificação de padrões, tendências e relações que não são visíveis por métodos tradicionais.

Papel da IA e do Big Data em Sistemas Complexos

A integração de IA e análise de big data em sistemas complexos possibilita:

- Previsão e avaliação de efeitos de inovações: modelagem do comportamento do sistema e identificação de possíveis resultados das mudanças.
- Automação de processos de gestão e otimização de recursos: melhoria da eficiência dos processos, redução de custos e aceleração da tomada de decisão.
- Identificação de interconexões ocultas entre os componentes do sistema: análise das dependências estruturais e funcionais para melhorar a precisão das previsões.
- Suporte à decisão com base em dados reais e modelos de aprendizado de máquina: integração de algoritmos de IA em processos estratégicos e operacionais de gestão.

A integração de IA e big data no desenvolvimento de inovações acelera a tomada de decisão, reduz riscos e garante a adaptabilidade dos sistemas complexos em ambientes dinâmicos.

Uso da IA na Ucrânia

Na Ucrânia, a IA é aplicada em:

- Defesa e Segurança: veículos aéreos não tripulados autônomos, sistemas de vigilância e análise de dados.
- Saúde: diagnóstico, tratamentos personalizados e gestão de dados médicos.
- Energia: otimização de redes de energia e previsão de demanda.
- Educação: sistemas de aprendizagem adaptativa e assistentes inteligentes.

Desafios e Perspectivas

- Questões éticas: garantir transparência e equidade algorítmica, evitando vieses.
- Regulamentação: desenvolvimento de normas nacionais e internacionais para o uso de IA.
- Infraestrutura: necessidade de recursos computacionais e especialistas qualificados.

As perspectivas incluem a integração com tecnologias de IoT e 5G, desenvolvimento de cidades inteligentes, Indústria 4.0 e suporte a processos de inovação em sistemas complexos.

Aplicações Práticas

Setor de Energia

As inovações em sistemas energéticos complexos concentram-se na integração de fontes de energia renovável com sistemas de armazenamento e redes inteligentes. Essa abordagem permite:

- garantir o fornecimento contínuo de energia;
- otimizar o equilíbrio entre produção e consumo;
- reduzir a dependência de fontes de energia tradicionais;
- aumentar a resiliência do sistema a choques externos e mudanças imprevisíveis.

O uso de big data e algoritmos de inteligência artificial possibilita prever picos de consumo, gerenciar a distribuição de energia em tempo real e melhorar a eficiência geral do sistema energético. A integração dessas tecnologias reflete uma abordagem interdisciplinar, combinando soluções de engenharia, tecnologia da informação e planejamento econômico para criar sistemas adaptativos e de alto desempenho.

Defesa

Em sistemas militares, as inovações visam principalmente aumentar a resiliência, a proteção e a eficiência operacional de ativos críticos. Tecnologias modernas de defesa abrangem diversos domínios interconectados, integrando engenharia, tecnologia da informação, ciência dos materiais e sistemas avançados de gestão. As principais inovações incluem:

- Camuflagem Térmica – desenvolvimento e aplicação de materiais e revestimentos especializados que reduzem as emissões infravermelhas, diminuindo a visibilidade de objetos para drones e sistemas de imagem térmica. Esses materiais frequentemente utilizam propriedades adaptativas ou bioinspiradas para responder dinamicamente às mudanças ambientais, aumentando a sobrevivência em diferentes condições operacionais.
- Sistemas Anti-Drones – conjuntos integrados de hardware e software projetados para detectar, rastrear e neutralizar veículos aéreos não tripulados (VANTs) em zonas críticas. Esses sistemas utilizam radares, sensores de radiofrequência, algoritmos de aprendizado de máquina e interfaces de controle automatizado para fornecer avaliação de ameaças e resposta em tempo real.
- Cibersegurança – integração de tecnologias de rede e informação para proteger dados sensíveis e garantir o controle confiável de sistemas de defesa complexos. Inovações incluem métodos avançados de criptografia, detecção de anomalias e modelagem preditiva de ameaças, prevenindo acessos não autorizados e mantendo a continuidade operacional.

A adoção de abordagens multidisciplinares em inovação de defesa demonstra benefícios estratégicos, operacionais e tecnológicos substanciais. Ao integrar princípios de engenharia, tecnologias de informação e comunicação, ciência dos materiais e controle de sistemas, organizações de defesa alcançam maior consciência

situacional, eficiência operacional e resiliência frente a ameaças convencionais e emergentes. A convergência dessas disciplinas facilita o desenvolvimento de soluções tecnicamente sofisticadas, adaptáveis ao contexto e capazes de responder à natureza dinâmica e complexa dos ambientes militares contemporâneos.

Além disso, a incorporação de inteligência artificial (IA) e análise de big data em sistemas de defesa amplia significativamente suas capacidades. Essas tecnologias permitem modelagem preditiva, avaliação de ameaças em tempo real, alocação otimizada de recursos e estratégias de resposta adaptativa. Consequentemente, os tomadores de decisão dispõem de ferramentas analíticas robustas para intervenções informadas, oportunas e eficazes em contextos operacionais de alta complexidade.

Com base nessa perspectiva integrada, a estrutura e as interações dessas inovações multidisciplinares podem ser conceitualizadas visualmente por meio de um diagrama de blocos. Esse diagrama ilustra os componentes em camadas e interdependentes dos sistemas de defesa modernos, fornecendo um quadro claro para análise e implementação prática (Figura 2).

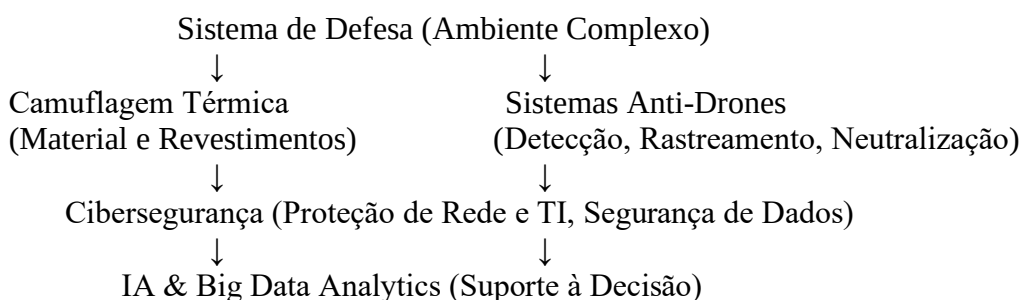


Figura 2. Inovações Multidisciplinares em Sistemas de Defesa
Fonte: Elaboração do autor

Descrição:

- Camuflagem Térmica – materiais e revestimentos especializados reduzem a assinatura infravermelha dos objetos, tornando-os menos detectáveis por drones e sistemas de imagem térmica, melhorando a capacidade de ocultação em teatros operacionais.
- Sistemas Anti-Drones – conjunto integrado de ferramentas de hardware e software para detectar, rastrear e neutralizar veículos aéreos não tripulados em áreas sensíveis, mitigando ameaças a pessoal e infraestrutura.
- Cibersegurança – proteção abrangente de sistemas em rede e dados sensíveis, garantindo comunicação segura, continuidade operacional e integridade dos processos de comando e controle.
- IA & Big Data Analytics – algoritmos avançados analisam grandes volumes de dados provenientes de múltiplas fontes, fornecendo insights preditivos, apoiando

decisões em tempo real e permitindo estratégias adaptativas frente a ameaças em evolução.

Este diagrama integrado demonstra como inovações multidisciplinares operam de forma sinérgica, produzindo um sistema de defesa em camadas que aumenta a consciência situacional, a eficiência operacional e a resiliência frente a ameaças convencionais e emergentes. A representação enfatiza a importância crítica de combinar dimensões técnicas, informacionais e analíticas para estabelecer uma estratégia de defesa coesa e robusta.

Ecologia Urbana

As abordagens inovadoras em ecologia urbana têm como objetivo principal aumentar a resiliência das cidades e melhorar a qualidade de vida de seus habitantes. Essas abordagens caracterizam-se pela integração de soluções técnicas, ambientais e sociais, refletindo uma estratégia multidisciplinar que combina conhecimentos de ecologia, engenharia, planejamento urbano e tecnologias da informação. As principais direções de aplicação incluem:

- **Gestão de Resíduos** – A gestão moderna de resíduos urbanos envolve a integração de sistemas avançados para separação na fonte, reciclagem e produção de bioenergia. Por meio da implementação de processos em circuito fechado, as cidades podem reduzir significativamente a sobrecarga de aterros sanitários e, simultaneamente, gerar recursos adicionais, como biogás ou biocombustíveis a partir de resíduos orgânicos. A aplicação de tecnologias inteligentes, incluindo sensores, análise de dados e sistemas automatizados de triagem, otimiza ainda mais a eficiência operacional, minimiza a poluição ambiental e contribui para a economia circular.
- **Mitigação das Ilhas de Calor Urbanas** – Áreas urbanas frequentemente apresentam temperaturas elevadas devido à concentração de infraestrutura construída, fenômeno conhecido como “efeito ilha de calor urbano”. Soluções inovadoras para reduzir o estresse térmico incluem a instalação de telhados e fachadas verdes, superfícies reflexivas e de alto albedo, além da incorporação de corredores de vegetação e elementos de planejamento urbano sensíveis à água. Essas estratégias não apenas reduzem a temperatura ambiente, como também melhoram a qualidade do ar urbano, promovem a biodiversidade e aumentam o bem-estar social, criando microclimas mais confortáveis para os residentes [9].
- **Bioenergia e Utilização de Recursos Renováveis** – A produção de bioenergia a partir de resíduos orgânicos e biomassa vegetal representa um componente crítico do desenvolvimento urbano sustentável. Por meio da conversão controlada de materiais orgânicos em biogás, biocombustíveis ou outras formas de energia, as cidades podem reduzir a dependência de fontes energéticas fósseis tradicionais, diminuir as emissões de gases de efeito estufa e fomentar a

autossuficiência energética. A integração da produção de bioenergia ao planejamento urbano requer coordenação interdisciplinar, abrangendo engenharia de resíduos, processamento químico e biológico, bem como gestão de energia em tempo real utilizando tecnologias da informação.

De modo geral, essas direções inovadoras em ecologia urbana demonstram como sistemas complexos se beneficiam de uma abordagem multidisciplinar, combinando engenharia ambiental, planejamento urbano e soluções tecnológicas avançadas. Ao implementar essas estratégias, as cidades não apenas melhoram a sustentabilidade ambiental, mas também criam espaços urbanos adaptativos, resilientes e habitáveis, capazes de responder às mudanças climáticas, sociais e tecnológicas em curso.

Inclusão e Acessibilidade

As inovações em sistemas complexos desempenham um papel fundamental na promoção da inclusão e acessibilidade, garantindo que as infraestruturas urbanas, educacionais e sociais respondam às necessidades diversificadas de todos os indivíduos, incluindo pessoas com deficiência. As abordagens modernas de inclusão são inerentemente multidisciplinares, combinando conhecimentos de engenharia, tecnologias da informação, ciências sociais e educação, a fim de criar sistemas adaptativos, resilientes e acessíveis. As principais áreas de implementação prática incluem:

- Ambientes Físicos e Digitais Acessíveis – O planejamento e a implementação de espaços públicos e serviços digitais inclusivos são essenciais para permitir que indivíduos com diferentes habilidades participem plenamente das atividades sociais, educacionais e econômicas. Isso envolve a integração de princípios de design universal, tecnologias assistivas e infraestrutura inteligente que apoiem mobilidade, navegação e acesso independente [10].
- Plataformas Educacionais Adaptativas – Inovações tecnológicas possibilitam o desenvolvimento de sistemas de aprendizagem personalizados e adaptativos, que consideram as necessidades individuais, estilos de aprendizagem e capacidades cognitivas. Essas plataformas utilizam análise avançada de dados, algoritmos de aprendizado de máquina e interfaces interativas para fornecer conteúdo educacional sob medida, monitorar o progresso e fornecer feedback em tempo hábil, melhorando, assim, os resultados de aprendizagem para estudantes com habilidades diversas.
- Monitoramento e Apoio à Mobilidade e Integração Social – A integração de tecnologias baseadas em sensores, redes de comunicação e sistemas de informação permite o monitoramento contínuo de padrões de mobilidade, saúde e engajamento social de pessoas com deficiência. Essas soluções facilitam a detecção precoce de possíveis desafios, apoiam a autonomia e fortalecem a

participação social. Além disso, permitem que formuladores de políticas públicas e planejadores urbanos tomem decisões baseadas em dados, otimizando acessibilidade e inclusividade em nível sistêmico.

A implementação prática dessas inovações evidencia o poder de uma abordagem multidisciplinar no enfrentamento de desafios sociais complexos. Ao combinar considerações técnicas, sociais e ambientais, tais soluções integradas aumentam a eficiência, a segurança e a resiliência dos sistemas complexos, promovendo acesso equitativo e fomentando ambientes urbanos e educacionais inclusivos. Essas abordagens não apenas melhoram a qualidade de vida dos indivíduos, mas também contribuem para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis, adaptativos e socialmente responsáveis em contextos de rápida mudança.

Desafios e Perspectivas

Riscos de Fragmentação do Conhecimento Sem Integração

Um dos principais desafios no desenvolvimento e implementação de inovações em sistemas complexos é a fragmentação do conhecimento entre diferentes disciplinas e setores. Na ausência de mecanismos eficazes de integração, tal fragmentação pode levar à duplicação de esforços, subutilização da expertise disponível e ao surgimento de soluções subótimas ou incorretas. Este problema é particularmente crítico em sistemas caracterizados por alta complexidade, nos quais as interações entre os componentes são indiretas, não lineares e frequentemente dinâmicas, de modo que erros ou ineficiências em um nível podem se propagar e gerar efeitos em cascata em todo o sistema.

As consequências da fragmentação do conhecimento vão além da mera ineficiência. Elas podem dificultar a identificação de interdependências críticas, reduzir a capacidade adaptativa do sistema e limitar o potencial para avanços inovadores. Em ambientes multidisciplinares, esforços de pesquisa e desenvolvimento não coordenados podem resultar em metodologias conflitantes, tecnologias incompatíveis e lacunas tanto na coleta de dados quanto nos frameworks analíticos. Tais lacunas comprometem a capacidade dos tomadores de decisão de obter uma compreensão holística do sistema, aumentando, assim, os riscos associados ao planejamento estratégico, à gestão operacional e à formulação de políticas.

O enfrentamento desses riscos requer abordagens estruturadas para a integração do conhecimento, incluindo colaboração interdisciplinar, plataformas compartilhadas para troca de dados e insights, e a adoção de frameworks de pensamento sistêmico. Ferramentas como ontologias, ambientes de modelagem integrados e metodologias colaborativas de gerenciamento de projetos ajudam a sintetizar expertises diversas e criar estratégias coerentes de inovação. Além disso,

a integração de tecnologias avançadas da informação, incluindo inteligência artificial e análise de big data, pode aprimorar a coordenação dos fluxos de conhecimento e apoiar a tomada de decisão em tempo real, reduzindo a fragmentação e aumentando a resiliência, adaptabilidade e eficácia global dos sistemas complexos.

O desenvolvimento de estratégias eficazes para mitigar a fragmentação do conhecimento representa, simultaneamente, um desafio significativo e uma oportunidade crucial para avançar a capacidade dos sistemas complexos de inovar de forma sustentável. Ao promover a integração interdisciplinar, organizações e comunidades podem assegurar que as inovações não sejam apenas tecnicamente sólidas, mas também socialmente relevantes, ambientalmente sustentáveis e capazes de se adaptar a contextos em evolução e perturbações imprevistas.

O Desafio da Harmonização de Padrões Regulatórios e Técnicos

Um dos principais desafios no avanço de inovações em sistemas complexos reside na harmonização de estruturas regulatórias e padrões técnicos entre diversos setores. Diferentes indústrias frequentemente operam sob conjuntos próprios de normas técnicas, regulamentos de segurança e protocolos de conformidade, os quais podem ser inconsistentes, conflitantes ou até mutuamente exclusivos. Tais disparidades constituem obstáculos significativos à integração de soluções inovadoras, especialmente quando sistemas complexos exigem a colaboração de agências governamentais, empresas comerciais e organizações da sociedade civil.

A ausência de harmonização padronizada pode prejudicar a interoperabilidade, aumentar o risco de erros e reduzir a eficiência operacional geral dos sistemas. Por exemplo, quando especificações técnicas divergem entre componentes ou subsistemas, a integração pode se tornar custosa, demorada e suscetível a falhas. Ademais, inconsistências regulatórias podem dificultar a adoção de novas tecnologias, visto que os requisitos legais e certificações de segurança variam entre setores e jurisdições. Esses desafios se intensificam em sistemas com alta interconectividade e interações dinâmicas, onde a falha de um componente em atender a um padrão pode gerar ineficiências sistêmicas mais amplas ou até falhas críticas.

Abordar essa questão requer uma estratégia coordenada que inclua o alinhamento de padrões técnicos, o desenvolvimento de estruturas regulatórias intersetoriais e a implementação de modelos de governança adaptativos. Mecanismos como grupos de trabalho interinstitucionais, adoção de normas internacionais e processos colaborativos de certificação facilitam a reconciliação de requisitos divergentes e promovem coerência entre os componentes do sistema. Além disso, a integração de plataformas digitais para monitoramento em tempo real, verificação de conformidade e suporte à padronização pode aumentar a

transparência, reduzir conflitos e viabilizar uma implementação mais ágil de inovações.

A harmonização de padrões técnicos e regulatórios não é meramente uma necessidade procedimental; constitui um facilitador estratégico para a implementação bem-sucedida de inovações interdisciplinares. Ao assegurar compatibilidade, segurança e eficiência operacional em sistemas complexos, padrões harmonizados ampliam a capacidade das organizações de inovar de forma sustentável, minimizando riscos relacionados à incompatibilidade técnica, violações regulatórias e desempenho fragmentado do sistema. No contexto de condições tecnológicas, sociais e ambientais em rápida evolução, esse alinhamento torna-se um pilar fundamental para o desenvolvimento de sistemas resilientes, adaptativos e integrados.

A Necessidade de Novas Formas de Parcerias Intersetoriais

A implementação bem-sucedida de inovações em sistemas complexos depende cada vez mais da colaboração proativa e estratégica entre múltiplos setores, incluindo instituições públicas, empresas privadas, organizações acadêmicas e de pesquisa, bem como entidades da sociedade civil. Parcerias intersetoriais são essenciais para o compartilhamento de recursos, consolidação de competências diversas e aproveitamento da expertise coletiva. Ao integrar conhecimentos e capacidades de diferentes domínios, essas parcerias potencializam a escalabilidade, sustentabilidade e eficácia das soluções inovadoras.

Formas emergentes de colaboração intersetorial incluem plataformas de pesquisa conjuntas, hubs de inovação, redes colaborativas e coalizões multissetoriais que facilitam a troca de conhecimento e a resolução coordenada de problemas. Plataformas de pesquisa conjuntas, por exemplo, oferecem infraestrutura compartilhada, ferramentas computacionais e recursos de dados que permitem às equipes interdisciplinares desenvolver e testar inovações de maneira mais eficiente. Hubs de inovação atuam como catalisadores para experimentação, apoiando startups, projetos-piloto e atividades de transferência de tecnologia que conectam pesquisa à aplicação prática. Coalizões multissetoriais promovem ainda o alinhamento entre estruturas regulatórias, padrões técnicos e necessidades sociais, garantindo que inovações sejam tecnicamente robustas e socialmente aceitáveis.

A necessidade dessas parcerias é particularmente crítica em sistemas complexos, nos quais os desafios são multifacetados e interdependentes. Por exemplo, em projetos de sustentabilidade urbana, colaborações entre autoridades municipais, fornecedores de energia, universidades e organizações não-governamentais podem acelerar a implementação de infraestrutura inteligente, soluções de energia renovável e tecnologias inclusivas. De forma análoga, em sistemas de saúde, parcerias entre instituições médicas, empresas de tecnologia e

laboratórios de pesquisa facilitam a integração de ferramentas de saúde digital, plataformas de telemedicina e modelos de cuidado adaptativos que respondem efetivamente às necessidades diversas dos pacientes.

Além da eficiência operacional, parcerias intersetoriais promovem resiliência e adaptabilidade em sistemas complexos. Ao permitir ciclos contínuos de feedback, compartilhamento de dados em tempo real e tomada de decisão conjunta, essas colaborações mitigam riscos relacionados à incerteza, restrições de recursos e disrupções tecnológicas. Ademais, favorecem a difusão da inovação entre setores, garantindo que boas práticas e soluções bem-sucedidas sejam replicadas e adaptadas em novos contextos.

Em conclusão, o desenvolvimento de novas formas de parcerias intersetoriais não é apenas uma medida de suporte, mas um imperativo estratégico para o avanço de inovações interdisciplinares. Ao criar estruturas que combinam recursos, conhecimento e expertise além das fronteiras institucionais, tais parcerias ampliam a capacidade dos sistemas complexos de responder a desafios ambientais, sociais e tecnológicos dinâmicos, promovendo desenvolvimento sustentável e inclusivo.

Perspectivas para o Desenvolvimento de Plataformas Universais para Inovações Multidisciplinares

Uma das perspectivas centrais no avanço de inovações em sistemas complexos é o desenvolvimento de plataformas integrativas universais que facilitem a interação entre especialistas de diversas disciplinas, possibilitem a análise automatizada de dados e apoiem a gestão dos processos de implementação de inovações. Essas plataformas atuam como infraestruturas colaborativas que integram ferramentas tecnológicas, analíticas e organizacionais, oferecendo um ambiente unificado para a resolução interdisciplinar de problemas.

Tais plataformas universais podem englobar diversos componentes críticos:

- Centros digitais de colaboração – ambientes virtuais que permitem comunicação fluida e troca de conhecimento entre especialistas de diferentes domínios, promovendo a cocriação e o desenvolvimento de projetos interdisciplinares.
- Ferramentas de análise de big data e modelagem de cenários – módulos computacionais que possibilitam o processamento de grandes conjuntos de dados, a simulação de resultados potenciais e a avaliação dos impactos sistêmicos das inovações propostas.
- Sistemas adaptativos de tomada de decisão baseados em inteligência artificial (IA) – ferramentas impulsionadas por IA que otimizam processos, preveem riscos e fornecem recomendações para ações estratégicas, aumentando a precisão e a velocidade da tomada de decisão em ambientes dinâmicos.

- Módulos de integração padronizados – componentes interoperáveis projetados para harmonizar diferentes tecnologias e metodologias, reduzindo barreiras técnicas e garantindo implementação coerente em múltiplos tipos de sistemas.

A implementação de tais plataformas aborda um dos principais desafios na inovação em sistemas complexos: a fragmentação do conhecimento. Ao oferecer um marco compartilhado para a colaboração interdisciplinar, essas plataformas reduzem redundâncias, melhoram a utilização de recursos intelectuais e facilitam a tradução de descobertas científicas em soluções práticas. Além disso, aumentam a escalabilidade e adaptabilidade das inovações, permitindo sua rápida implementação em contextos diversos, desde infraestrutura urbana e sistemas de energia até redes de saúde e gestão ambiental.

Ademais, plataformas universais criam oportunidades para aprendizado contínuo e melhoria iterativa. Ao integrar monitoramento em tempo real, mecanismos de feedback e análises assistidas por IA, essas plataformas permitem que organizações refinem estratégias de inovação dinamicamente, respondam a desafios emergentes e otimizem o desempenho sistêmico. Elas também promovem transparência e reprodutibilidade, garantindo que práticas inovadoras possam ser avaliadas, replicadas e adaptadas entre setores.

Em conclusão, o desenvolvimento de plataformas universais para inovações multidisciplinares representa uma abordagem transformadora para a gestão da complexidade em sistemas modernos. Ao combinar integração tecnológica, tomada de decisão orientada por dados e colaboração interdisciplinar, tais plataformas aumentam a eficácia, resiliência e sustentabilidade de sistemas complexos, abrindo caminho para inovação acelerada e amplo impacto societal.

Conclusão

O estudo confirma que as inovações em sistemas complexos alcançam sua máxima eficácia por meio de uma abordagem multidisciplinar. A integração de conhecimentos, metodologias e tecnologias provenientes de diferentes áreas amplia a adaptabilidade, a resiliência e o desempenho global dos sistemas.

Os principais resultados incluem:

- Padrões sistêmicos comuns: Apesar das diferenças entre os domínios — técnico, social, ecológico, de defesa e médico — os sistemas complexos compartilham princípios universais de desenvolvimento da inovação. O reconhecimento desses padrões favorece a transferência de boas práticas e estratégias eficientes de inovação entre setores.
- Sinergia por meio da integração: A colaboração interdisciplinar une a engenharia, a tecnologia da informação, a biologia e as ciências sociais, melhorando a precisão preditiva, a eficiência e a capacidade de resposta às necessidades humanas e ambientais.

- Ferramentas metodológicas: A análise de sistemas, a gestão de projetos, as plataformas colaborativas e a análise de big data possibilitam a integração sistemática de inovações, o monitoramento de impactos e a gestão adaptativa.
- Domínios de aplicação: As inovações multidisciplinares geram benefícios mensuráveis em sistemas energéticos, tecnologias de defesa, ecologia urbana e ambientes inclusivos.

Persistem desafios relacionados à harmonização de padrões, à redução da fragmentação do conhecimento e ao fortalecimento das parcerias intersetoriais. Superar essas questões garantirá processos de inovação coerentes, escaláveis e sustentáveis.

Em síntese, a abordagem multidisciplinar fornece um quadro conceitual para integrar dimensões técnicas, sociais e ecológicas dos sistemas complexos, reforçando sua resiliência, eficiência e sustentabilidade em múltiplos domínios.

Referências

1. Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Reading, MA: Addison-Wesley.
2. Helbing, D. (2013). Globally Networked Risks and How to Respond. *Nature*, 497, 51–59.
3. Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467–482.
4. Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing.
5. Havryliuk, V. M. (2020). Análise de sistemas no contexto de processos socioeconômicos complexos. *Boletim da Universidade Nacional Taras Shevchenko de Kyiv. Economia*, 4(217), 11–18.
6. Carayannis, E. G., Campbell, D. F. J., & Rehman, S. S. (2021). Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems. *Springer*.
7. Zhang, H., Li, Y., & Wang, Z. (2023). Sistemas adaptativos complexos na inovação em defesa. *Defence Technology*, 19(3), 342–355.
8. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2021). Uma arquitetura de sistemas ciberfísicos para manufatura baseada na Indústria 4.0. *Manufacturing Letters*, 28, 24–30.
9. Melnyk, V., Shevchenko, R., & Bondarenko, L. (2020). Ilhas de calor urbanas: Estratégias de mitigação e adaptação climática. *Environmental Research Letters*, 15(11), 1–15.
10. Tymoshenko, V. (2022). Acessibilidade digital para pessoas com deficiência: Métodos e tecnologias. *Journal of Social Innovations*, 14(1), 55–72.

[JA_6]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

複合システムにおける学際的イノベーション

要旨

本稿は、複雑系（技術系、社会系、環境系、軍事系、医療系など）におけるイノベーションを、多分野横断的アプローチを用いて検討する。まず「複雑系」という概念およびその分類を分析し、異なる領域における知識のシナジーとイノベーションの相互関係を論じる。次に、複雑系におけるイノベーション開発のための方法論的アプローチ（システム分析、プロジェクトマネジメント、人工知能・ビッグデータの統合など）を提示する。さらに、エネルギー、防衛、都市生態系、インクルージョンといった実践的応用領域をレビューする。最後に、多分野イノベーションにおける知識の断片化、標準化、異分野連携という課題と展望を浮き彫りにする。本研究は、複雑系マネジメントに携わる研究者、技術開発者および運用担当者に対し、理論的な新規性と実践的な価値を併せて提供するものである。

キーワード: 複雑系のイノベーション、多分野横断的アプローチ、複雑系、システム分析、人工知能、ビッグデータ、都市生態系、防衛技術、インクルージョン

はじめに

現代の複雑系は、構成要素間の高度な統合と、技術・社会・環境・組織というサブシステム間の相互依存性を特徴とする。こうした系におけるイノベーションは、効率性を高めるだけでなく、変化する条件へのレジリエンスおよび適応性を確保するうえで極めて重要である。

現代において研究・管理対象となるオブジェクトの複雑性が増加しているため、工学、情報技術、生物学、社会学、マネジメントなど多様な分野の知識を統合する多分野横断的アプローチの採用が必須となっている。このアプローチは、能力のシナジーを促進し、イノベーションの実装を加

速させ、システム性能を総合的に評価することを可能にする。異分野の知見を活用することで、ステークホルダーは系リスクを予見し、資源配分を最適化し、全体的効果性を高めることができる。

本研究の目的は、多分野横断的アプローチを用いて複雑系におけるイノベーションを調査し、その開発のための方法論的基盤を定義し、さらに実践的応用分野を明らかにすることである。本稿の具体的な目的には以下が含まれる：

- 複雑系の理論的基盤およびその分類の分析
- 複雑系におけるイノベーション開発のための方法論の検討
- 各種セクターにおける実践的応用のレビュー
- 多分野イノベーションにおける主要な課題および今後の展望の特定

本研究は、複雑系におけるイノベーションプロセスに関して包括的視点を提供することで科学的な新規性を有し、その実践的意義は、エネルギー、防衛、都市生態系、インクルーシブなソリューションという技術開発を志す研究者・実務家・システムマネージャーに向けた道筋を提示する点にある。

理論的ブロック

複雑系の概念

複雑系とは、相互に関連する要素から構成され、外部環境の継続的な変化に適応しながら統合的かつ一貫した構造として機能する組織的なシステムと定義される。このようなシステムは構成要素間の高い相互依存性を特徴とし、一つの要素に生じた変化がネットワーク全体に波及し、他の要素に直接的または間接的な影響を及ぼす。

さらに、複雑系は非線形的挙動を示す。すなわち、入力と出力の関係が比例的ではなく、微小な変化が不釣り合いに大きな、あるいは予期せぬ結果を引き起こすことがある。また、複雑系のもう一つの重要な特性は自己調整性と創発的行動であり、これによりシステムは外部からの圧力の下でも安定性を維持し、内部構造を再編し、性能を最適化することができる。

複雑系を理解するためには、工学、情報技術、生物学、社会科学、経営学といった多分野的知見の統合を要する学際的視点が不可欠である。このアプローチは、個々の構成要素のミクロ的相互作用と、それらから生じるマクロ的パターンの双方を把握することを可能にする。かかる全体的視点により、重要ノードの特定、潜在的脆弱性の検出、革新の機会の探索が促進され、複雑系の効果的設計・実装および持続的発展が実現される。

現代研究において、複雑系はその機能的および構造的特性に基づき分類される。この分類は、複雑系の多様性を理解するための枠組みを提供し、異なる領域における開発・適応・革新統合の背後にある一般原理を明らかにする（表1参照）。

表1 複雑系の分類

複雑系の種類	代表的な例	主な特徴
技術システム	産業コンプレックス、輸送・エネルギーネットワーク、自動化生産ライン	工学的統合度が高い、物理的インフラへの依存、拡張可能性
社会システム	組織、地域社会、経済・教育ネットワーク	人間中心の相互作用、社会規範、組織構造
環境システム	自然景観、都市生態系、バイオエネルギー複合体	生態的均衡への依存、持続可能性の考慮
医療システム	医療サービス、リハビリテーションセンター、遠隔患者モニタリングシステム	臨床・技術・組織的要素の統合

出典：筆者作成

この分類から明らかなように、各複雑系は固有の構造的・機能的特性を有するものの、開発・革新導入・適応的マネジメントの一般パターンは共通している。この普遍性により、多分野的アプローチを適用することが可能となり、工学、情報技術、生物学、社会学、経営学の知識を組み合わせ、より高い効率性とレジリエンスを達成できる。

複雑系の主要特性

- 相互依存性：構成要素は互いに影響を及ぼし、微小な変化がシステム全体に波及する。
- 非線形性：出力は入力に比例せず、適応的戦略が求められる。
- 自己調整性：外乱に対して安定性を維持する内部機構を有する。
- 適応性：環境変化および条件の進化に応答しうる能力を有する。

複雑系の理解と分類は、効果的なイノベーション設計と開発の基盤を形成し、研究者および実務家が重要な介入点を特定し、異なるシステム間での最適な統合を実現するために不可欠である。

革新と学際性の関係

複雑系におけるイノベーションは、通常、単一の学問分野の枠を超えて展開される。新しい技術、マネジメント手法、または組織的ソリューションを効果的に実装するためには、異なる分野の知識と専門能力を統合することが不可欠であり、それによってシステムは動的な環境条件に対する**適応性（adaptability）**を高めることができる。

学際的（multidisciplinary）アプローチを採用することにより、以下のような利点が得られる：

- イノベーションの結果に関する予測精度の向上
- 長期的視点に立ったリスクと利益の総合的評価
- 危機的状況や戦時下における予測不能要因への迅速な適応
- 研究者・開発者・マネージャーの知的潜在力を強化する知識シナジーの創出 [6]

応用領域に応じて、学際性はさまざまな形態をとる。

- ****技術システム（Technical systems）**においては、工学的手法とデジタルソリューションの統合により、効率性とレジリエンス（resilience）**が向上する。
- ****社会システム（Social systems）****では、マネジメント科学とコミュニケーション科学の融合によって、新たなコミュニティおよび組織的相互作用のモデルが形成される。
- ****生態システム（Ecological systems）****では、環境科学と経済科学の協働により、効率性と資源保全のバランスが確保される。
- ****軍事システム（Military systems）****では、監視技術・熱的耐性（thermal resilience）・カモフラージュ技術（camouflage technologies）・マネジメント技術のシナジーが、多層的な防護構造を可能にする [7]。
- ****医療システム（Medical systems）****においては、臨床実践、デジタルプラットフォーム、バイオエンジニアリングの統合により、治療と患者モニタリングの質が向上する。

学際的知識のシナジー：工学×情報技術×生物学×社会学

学際的文脈における****知識のシナジー（synergy of knowledge）**とは、異なる科学領域の方法論およびアプローチを統合し、単一の学問分野内では達成不可能な成果を実現することである。この統合は、新たな知的価値を生み出し、イノベーションプロセスを加速させ、複雑系のレジリエンス（resilience）**を支える。

具体例として：

- ****工学（Engineering）****は、インフラストラクチャから先進材料まで、物理的・技術的ソリューションの基盤を提供する。
- ****情報技術（Information Technology, IT）****は、プロセス自動化、シミュレーション、ビッグデータ解析を可能にし、拡張性と精度を確保する [8]。

- **生物学（Biology）**は、適応メカニズム、生体模倣的設計（biomimetic design）、およびエネルギー効率に関する知見を提供し、持続可能な革新を触発する。
- 社会学（Sociology）は、人間とシステムの相互作用に関する行動的・組織的側面の理解を助け、包摂性（inclusivity）と社会的持続可能性を支える [9]。

これらの学問領域の統合は、技術的効率、環境適応、社会的妥当性を同時に満たすイノベーション開発のための強固な基盤を形成する。複数分野の知識と方法を融合することにより、機能的に効果的であると同時に、予期せぬ変化や課題に対しても耐性を有するソリューションの創出が可能となる。

このような学際的シナジーは、急速な技術進展および変化し続ける社会的ニーズの中で、複雑系が持続可能性・運用柔軟性・高い生産性を維持することを保証する [5]。

学際的統合の意義

工学、情報技術、生物学、社会学の統合は、システム工学、データサイエンス、生体模倣設計、社会行動分析といった専門的手法を相補的に活用することにより、問題を多面的に捉えることを可能にする。この多次元のシナジーにより、従来の単一分野的研究では見過ごされがちな**レバレッジポイント（leverage points）**を明らかにし、複雑系の適応性・耐久性・運用効率を高めることができる。

さらに、このような統合的研究は、定量モデルと定性洞察の整合を図ることにより、**エビデンスに基づく意思決定（evidence-based decision making）**を支援し、短期的な運用成果の改善と長期的な戦略的計画の双方を強化する。学際的専門性を活用することで、チームは創発的挙動（emergent behavior）**を予測し、システム性能を最適化し、拡張性と文脈依存性を両立するソリューションを設計できる。

統合アプローチの重要性

これらの分野間の相互連関の深化は、各領域がもつ独自の分析手法・理論的視座・応用技術を調和的に統合する必要性を示している。このような統合は、システムレベルのイノベーションを推進するだけでなく、科学的知見を社会的に有益な実践成果へと転換することを促進する。

この**学際的統合（interdisciplinary integration）**は、持続可能で人間中心的な技術パラダイムへの移行において、特に重要な役割を果たす。

補足的注釈：熱的耐性とマスキング技術への応用

工学的・情報学的・生物学的知識の統合は、熱的耐性（thermal resilience）および対象物マスキング（object masking）の研究にも直接的に応用される。これらは、防衛技術・エネルギー効率・環境適応設計における複雑系のレジリエンス評価を支える中核概念であり、学際的知識シナジーの実践的指標として位置づけられる。

複雑系イノベーションに対する各学問分野の具体的な貢献を以下に要約する（表2参照）。それぞれの分野は、独自の方法論的枠組みと応用領域を通じて、システムの適応性・効率性・持続可能性を強化する重要な役割を担っている。

表2 複雑系イノベーションに対する各学問分野の貢献

学問分野	イノベーションへの主な貢献	応用例
工学	物理的・技術的ソリューションの開発	再生可能エネルギー貯蔵、ロボティクス
情報技術	プロセス自動化、シミュレーション、ビッグデータ解析	スマートシティ、サイバーフィジカルシステム
生物学	生体模倣的アプローチ、エネルギー効率、適応性	バイオインスパイア材料、グリーンテクノロジー
社会学	行動的・組織的側面の分析、包摂性の促進	参加型ガバナンス、電子ヘルス

出典：筆者作成

この分類表は、各学問領域が複雑系における革新過程を支える固有の知識体系と応用技術を提供していることを示している。特に、工学・情報科学・生物学・社会学の相補的統合は、技術的効率性の向上と同時に、**環境持続性・社会的包摂性・熱的耐性（thermal resilience）**の確保に寄与する。

このような多分野的貢献のシナジーは、将来的な防衛システム、環境適応型設計、複合材料マスキング技術などの分野においても重要な理論的・実践的基盤を形成するものである。

方法論ブロック

複雑系におけるイノベーション開発のアプローチ

複雑系におけるイノベーションの開発には、内部構造と外部要因の双方を考慮した体系的かつ多層的アプローチが求められる。これにより、システムの熱的安定性（thermal resilience）や適応的マスキング（adaptive camouflage）など、実環境下での動的要件を満たす設計が可能となる。主要な方法論的戦略は以下のとおりである。

- システム・アプローチ（Systems approach）：

システムを全体的な統合体として捉え、構成要素間の相互作用を考慮する。これにより、重要な臨界点を特定し、長期的挙動を予測し、イノベーション導入の影響をモデリングできる。特に熱分布制御や構造応答の最適化に有効である。

- 進化的アプローチ (Evolutionary approach) :

統制された革新的変化を段階的に組み込むことで、システムを持続的に改良する。漸進的プロセスにより、リスクの軽減、中間評価の容易化、信頼性の向上が図られる。生体模倣的構造の熱安定性設計などに適用可能である。

- 適応的アプローチ (Adaptive approach) :

技術的・社会的・生態的・安全保障的要因などの外的環境に柔軟に対応する。これにより、不確実な状況下での迅速な意思決定修正や新ツール統合が可能となり、複合マスキング技術などの動的最適化を支援する。

- シナリオ・アプローチ (Scenario-based approach) :

予測モデルおよび複数の発展シナリオを用いて、変化の異なる軌道を検証し、最適な行動方針を導出する。熱的・視覚的・電磁的検出の相互影響を評価する統合設計に有用である。

統合手法 (Integration Methods)

多分野的知識とソリューションの統合は、複雑系イノベーション成功の中核的要素である。これにより、システムの熱的耐性・環境適応性・社会的受容性の同時達成が可能となる。主な統合法は以下のとおり。

- システム解析 (Systems analysis) :

構造、機能、相互連関の評価を通じて、イノベーションの高影響領域を特定し、システム効果を予測する。熱流動や材料応答の解析において特に重要である。

- プロジェクト・マネジメント (Project management) :

計画、組織化、モニタリングおよび実行制御を行い、革新的開発プロセスの効率性と透明性を確保する。

- 学際的プラットフォーム (Cross-disciplinary platforms) :

異分野の専門家間での協働を促進するデジタル・組織的環境を整備し、知識交換・共同モデリング・迅速な検証を支援する。複合材料や知的迷彩設計の最適化に寄与する。

- モデリングとシミュレーション (Modeling and simulation) :

デジタルツインや数理モデルを用いて、実装前に仮想環境でソリューションを検証する。熱流解析や視覚検出抑制モデルに適用可能。

- SWOTおよびリスク分析（SWOT and risk analysis）：

強み・弱み・機会・脅威を体系的に評価し、イノベーションの成果を予測し、負の影響を軽減する。特に環境変動や安全保障リスク下での設計信頼性向上に寄与する。

この方法論的枠組みは、工学・情報科学・生物模倣学・社会学の知を統合し、複雑システムにおける**熱的耐性（thermal resilience）とマスキング特性（object camouflage）**の両立を実現するものである。これにより、科学的イノベーションの加速とともに、人間中心・環境調和型技術の新たな展開が期待される。

形式化モデル (Formalized Model)

複雑系におけるイノベーションのプロセスは、その多分野的（multidisciplinary）特性を反映する形で形式化できる。このモデルは、環境・社会・経済・技術の各要因間の**相互依存性（interdependencies）**を体系的に表現し、システム全体の革新性（innovativeness）に対する影響を定量的に評価するための基盤を提供する。

数学的表現は以下のように定式化される（式1）。

$$I = \alpha E^{\beta} So^{\gamma} Ec^{\delta} T^{\epsilon} \quad (1)$$

ここで：

I - システムのイノベーション水準（Level of Innovation of the System）

E - 技術・工学的要因（Engineering Factors）

So - 社会的要因（Social Factors）

Ec - 環境的要因（Environmental Factors）

T - 技術的ソリューション（Technological Solutions）

α - スケーリング係数（Scaling Factor）

$\beta, \gamma, \delta, \epsilon$ - 各要因の影響係数（Coefficients of Influence）

出典：著者による作成（Author's compilation）

この形式化モデルは、イノベーション設計・評価・最適化のための構造的枠組みを提供し、複雑系におけるすべての重要次元を一貫した定量的手法で取り扱うことを可能にする。各領域の影響を数値化することで、研究者や実務者は**優先介入領域（priority areas for intervention）を特定し、さまざまなシナリオ下での革新成果の予測（predictive innovation outcomes）**を行うことができる。

イノベーション開発の方法論的フロー（Methodological Flow of Innovation Development）

この数理モデルに基づき、イノベーション開発のプロセスは**ブロックダイアグラム（block diagram）**として視覚的に概念化できる。この図は、プロセスの段階的・相互依存的性質を明確に示し、分析および実践的実装のための構造的枠組みを提供する（図1）。

現行の段階構成（Current Order of Stages）

1. 入力データ（Input Data）
 - 環境・社会・経済・技術パフォーマンスの統合情報
2. 第1段階：システム分析（Systems Analysis）
 - 構造的関係の特定
 - 臨界点の抽出
3. 第2段階：手法統合（Integration of Methods）
 - プロジェクトマネジメント（PMBOK、Agile）
 - 学際的プラットフォーム（Cross-disciplinary Platforms）
 - モデリングとシミュレーション（Modeling & Simulation）
4. 第3段階：シナリオモデリング（Scenario Modeling）
 - 代替的発展シナリオの作成
 - デジタルツインと予測分析
5. 第4段階：リスク評価（Risk Assessment）
 - SWOT分析
 - 機会および脅威の評価
6. 出力結果（Output Results）
 - 実用的イノベーションソリューション
 - 実装に向けた推奨事項

図1 複雑系におけるイノベーション開発の方法論（Methodology of Innovation Development in Complex Systems）

出典：著者による作成（Author's compilation）

総合的意義（Integrated Significance）

この形式化モデルと方法論的プロセスの統合は、複雑かつ多分野的なシステムにおけるイノベーションを体系的に開発・検証・実装するための包括的な道筋を提供する。

これにより、定量的な厳密性と実践的な意思決定支援の両立が可能となり、イノベーションが技術的・社会的・環境的・技術的目的と整合するよう保証される。さらに、システムの熱的安定性（thermal stability）および環境適応的マスキング（adaptive camouflage）の設計原理を統合すること

で、防衛・エネルギー・都市環境・医療分野における次世代的应用が期待される。

複雑系における人工知能（AI）とビッグデータ

Artificial Intelligence and Big Data in Complex Systems

定義と主要概念（Definition and Key Concepts）

****人工知能（AI）とは、人間の知的活動を模倣し、学習・パターン認識・意思決定・自然言語処理などのタスクを実行できるシステムを構築することを目的とする計算機科学の一分野である。主要なサブフィールドには、機械学習（Machine Learning）、深層学習（Deep Learning）、自然言語処理（Natural Language Processing）、およびコンピュータビジョン（Computer Vision）**が含まれる。**

****ビッグデータ（Big Data）**とは、膨大かつ多様な構造化・非構造化情報を収集・処理・解析することを指し、従来の手法では把握できないパターン、傾向、相関関係を明らかにする技術領域である。**

複雑系におけるAIとビッグデータの役割

AIおよびビッグデータ解析の統合は、複雑系における革新の推進力として以下の利点をもたらす：

- イノベーション効果の予測と評価（Prediction and assessment of innovation effects）

システム挙動のモデル化と変化結果のシミュレーションを通じて、革新の影響を事前に特定する。

- 管理プロセスの自動化と資源最適化（Automation and resource optimization）

プロセス効率を高め、コストを削減し、意思決定のスピードを向上させる。

- 構造的・機能的相互依存関係の発見（Identification of hidden interconnections）

システム構成要素間の隠れた依存関係を解析し、予測の精度を高める。

- 実データおよび機械学習モデルに基づく意思決定支援（Decision support based on real data）

AIアルゴリズムを戦略的・運用的マネジメントプロセスに統合し、科学的根拠に基づく意思決定を促進する。

AIおよびビッグデータの統合により、意思決定が高速化し、リスクが軽減され、動的環境における複雑系の適応性が向上する。

ウクライナにおけるAIの応用事例

ウクライナでは、AI技術は次の分野で急速に応用されている：

- 防衛・安全保障（Defense and Security）：自律型無人航空機（UAV）、監視システム、データ分析プラットフォーム。
- 医療（Healthcare）：診断支援、個別化医療、医療データ管理システム。
- エネルギー（Energy）：電力網の最適化、需要予測モデル。
- 教育（Education）：適応型学習システム、知的支援アシスタント。

課題と展望（Challenges and Prospects）

AIおよびビッグデータの導入には、いくつかの課題が存在する：

- 倫理的懸念（Ethical Concerns）：アルゴリズムの透明性と公平性を確保し、バイアスを回避すること。
- 規制（Regulation）：国内外におけるAI利用基準と法的枠組みの整備。
- インフラストラクチャ（Infrastructure）：高性能計算資源と専門人材の確保。

今後の展望としては、IoTおよび5G技術との統合（Integration with IoT and 5G）、スマートシティ開発（Smart Cities）、インダストリー4.0（Industry 4.0）、および**複雑系におけるイノベーションプロセスの支援（Support of innovation in complex systems）**が挙げられる。

AIとビッグデータの融合は、熱的安定性（thermal stability）および環境適応型マスキング（adaptive camouflage）の領域においても新しい展開をもたらし、エネルギー効率・防衛・医療・環境設計の分野における多層的最適化モデルの確立を促進している。

実践的応用（Practical Applications）

エネルギー分野（Energy Sector）

複雑系エネルギーシステムにおけるイノベーションは、再生可能エネルギー源と蓄電システム、スマートグリッドの統合に重点を置く。このアプローチにより、以下の利点が得られる：

- 連続的なエネルギー供給の確保（Ensuring continuous energy supply）
- 生産と消費のバランスの最適化（Optimizing production-consumption balance）
- 従来型エネルギー源への依存の低減（Reducing reliance on traditional energy sources）
- 外的ショックや予測不能な変化に対するシステムのレジリエンス向上（Increasing system resilience to external shocks and unpredictable changes）

さらに、ビッグデータ（Big Data）および人工知能（Artificial Intelligence, AI）アルゴリズムの活用により、消費ピークの予測、リアルタイムでのエネルギー分配管理、システム全体の効率性向上が可能となる。

これらの技術統合は、工学的ソリューション、情報技術、経済計画の学際的アプローチを反映しており、適応性が高く高性能なエネルギーシステムの構築を可能にする。

防衛

軍事システムにおけるイノベーションは、主に重要資産の回復力、保護、および運用効率の向上を目的としている。現代の防衛技術は、工学、情報技術、材料科学、先進的管理システムを統合した複数の相互関連領域にまたがっており、以下の主要なイノベーションが含まれる。

- 熱的カモフラージュ（サーマルカモフラージュ） – 赤外線放射を低減し、ドローンや熱画像システムに対する物体の可視性を減少させる特殊材料およびコーティングの開発と応用。これらの材料は、環境変化に動的に対応する適応型または生物模倣型の特性を活用することが多く、多様な作戦条件下での生存性を高める。
- 対ドローンシステム – 重要区域における無人航空機（UAV）の検知、追跡、および無力化を目的としたハードウェアおよびソフトウェアの包括的ソリューション。これらのシステムは、レーダー、無線周波数センサー、機械学習アルゴリズム、および自動制御インターフェースを用いて、リアルタイムの脅威評価と対応を提供する。
- サイバーセキュリティ – 複雑な防衛システムの信頼性ある制御を確保し、機密データを保護するためのネットワークおよび情報技術の統合。サイバーセキュリティにおけるイノベーションには、高度な暗号化手法、異常検知、予測的脅威モデリングが含まれ、不正アクセスを防ぎ運用の継続性を維持する。

防衛イノベーションにおける学際的アプローチの採用は、戦略的、運用的、技術的に大きな利点を示す。工学、情報通信技術、材料科学、およびシステム制御の原則を統合することで、防衛組織は状況認識の高度化、運用効率の向上、および従来型・新興型の脅威に対する回復力を著しく向上させることができる。これらの分野の融合は、技術的に高度で文脈に適応可能なソリューションの開発を促進し、現代の軍事環境の動的かつ複雑な性質に対応する能力を高める。

さらに、防衛システムへの人工知能（AI）およびビッグデータ解析の導入は、その能力を著しく拡張する。これらの技術は、予測モデルの構築

、リアルタイムの脅威評価、資源配分の最適化、および適応的対応戦略を可能にする。その結果、意思決定者は、高度な分析ツールを用いて、情報に基づいた、タイムリーかつ効果的な介入を行うことが可能となる。

この統合的視点に基づき、学際的イノベーションの構造と相互作用は、ブロック図を用いて視覚的に概念化することができる。この図は、現代の防衛システムにおける階層的かつ相互依存的な構成要素を示し、分析および実践的な実装のための明確な枠組みを提供する（図2）。

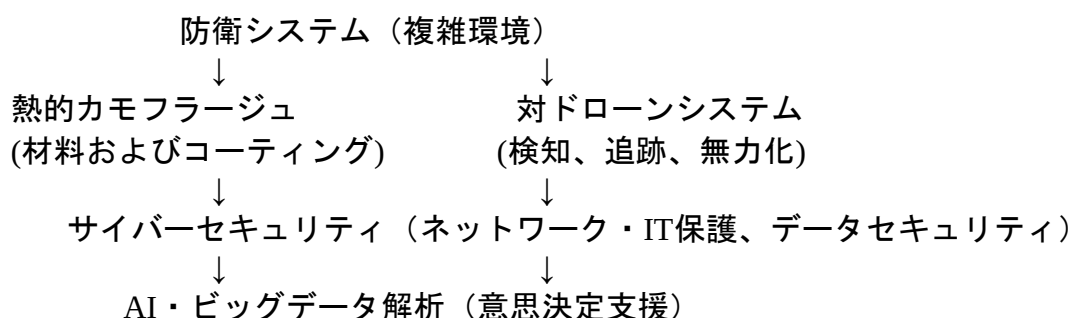


図2. 防衛システムにおける学際的イノベーション

出典：著者作成

防衛システムの説明

- 熱的カモフラージュ（Thermal Camouflage） – 特殊材料およびコーティングにより、物体の赤外線放射が低減され、ドローンや熱画像システムによる検知が困難となる。これにより作戦環境におけるステルス能力が向上する。
- 対ドローンシステム（Anti-Drone Systems） – 機密区域における無人航空機（UAV）の検知、追跡、無力化を目的としたハードウェアおよびソフトウェアの統合ソリューション。人員やインフラへの潜在的脅威を軽減する。
- サイバーセキュリティ（Cybersecurity） – ネットワークシステムおよび機密データの包括的保護を提供し、安全な通信、運用の継続性、および指揮・制御プロセスの整合性を確保する。
- 人工知能・ビッグデータ解析（AI & Big Data Analytics） – 複数の情報源から得られる膨大なデータセットを高度なアルゴリズムで解析し、予測的洞察を提供、リアルタイムの意思決定を支援し、進化する脅威に対する適応的対応戦略を可能にする。

この統合的ブロック図は、学際的イノベーションがどのように協働して動作し、階層的な防衛システムを形成するかを示す。このシステムは状

況認識、運用効率、および従来型・新興型の脅威に対する回復力を強化するものであり、技術的、情動的、分析的側面を統合する重要性を強調している。

都市生態学 (Urban Ecology)

都市生態学における革新的アプローチは、主に都市の回復力を向上させ、住民の生活の質を改善することを目的としている。これらのアプローチは、技術的、環境的、社会的解決策の統合により特徴づけられ、エコロジー、工学、都市計画、情報技術の知見を結合する学際的戦略を反映している。主要な適用分野は以下の通りである。

- 廃棄物管理 (Waste Management) – 現代都市の廃棄物管理は、分別収集、リサイクル、バイオエネルギー生産のための高度なシステムを統合して行われる。閉ループ型プロセスの実装により、都市は埋立地への負荷を大幅に軽減し、有機廃棄物からバイオガスやバイオ燃料などの追加資源を生成できる。センサー、データ解析、自動分別システムを含むスマート技術の活用は、運用効率の最適化、環境汚染の最小化、および循環型経済への貢献を可能にする。
- 都市熱島対策 (Mitigation of Urban Heat Islands) – 都市部は建造物の集中により高温になりやすく、「都市熱島現象」と呼ばれる。熱ストレスを低減する革新的解決策には、グリーンルーフや緑化ファサードの設置、反射率の高い表面材の活用、植生回廊や水敏感型都市設計の導入が含まれる。これらの戦略は、気温の低下だけでなく、都市の大気質改善、生物多様性促進、居住者にとって快適なマイクロクライメートの創出により社会的福祉の向上ももたらす。
- バイオエネルギーおよび再生可能資源の活用 (Bioenergy and Renewable Resource Utilization) – 有機廃棄物や植物バイオマスからのバイオエネルギー生産は、持続可能な都市開発の重要な要素である。制御された有機物変換によって、バイオガス、バイオ燃料、その他のエネルギー形態を生成し、化石燃料への依存を減少させ、温室効果ガス排出を低減し、エネルギー自給を促進する。都市計画へのバイオエネルギー統合は、廃棄物工学、化学・生物学的処理、および情報技術を活用したリアルタイムエネルギー管理の学際的調整を必要とする。

これらの都市生態学における革新的方向性は、複雑なシステムが学際的アプローチから恩恵を受ける方法を示しており、環境工学、都市計画、および先進技術の統合により、都市の持続可能性を向上させるだけでなく

、気候的、社会的、技術的変化に適応可能で回復力のある居住空間を創出する。

包摂性とアクセシビリティ

複雑システムにおけるイノベーションは、都市、教育、社会インフラが障害のある人々を含む多様なニーズに対応できるようにする上で重要な役割を果たす。現代の包摂的アプローチは本質的に学際的であり、工学、情報技術、社会科学、教育学の知見を統合し、適応性、回復力、アクセス可能性に優れたシステムを構築する。実践的な適用領域には以下が含まれる。

- 物理的およびデジタル環境のアクセシビリティ – 包括的な公共空間およびデジタルサービスの設計と実装は、多様な能力を持つ個人が社会的、教育的、経済的活動に完全に参加できるようにする上で不可欠である。これには、ユニバーサルデザインの原則、支援技術、モビリティやナビゲーション、自立的アクセスを支援するスマートインフラの統合が含まれる [10]。
- 適応型教育プラットフォーム – 技術革新により、個々のニーズ、学習スタイル、認知能力に対応したパーソナライズされた学習システムの開発が可能となる。これらのプラットフォームは、高度な解析、機械学習アルゴリズム、およびインタラクティブなインターフェースを用いて教育コンテンツを個別化し、進捗をモニタリングし、適時フィードバックを提供することで、多様な能力を持つ学生の学習成果を向上させる。
- 移動性および社会統合のモニタリングと支援 – センサー技術、通信ネットワーク、情報システムの統合により、障害者の移動パターン、健康状態、社会的関与を継続的に監視することが可能となる。このようなソリューションは、潜在的課題の早期発見、自立生活の支援、社会参加の促進を可能にする。また、政策立案者や都市計画者がデータに基づいた意思決定を行い、システムレベルでのアクセシビリティと包摂性を最適化できる。

これらのイノベーションの実践的適用は、複雑な社会的課題に対処する上で学際的アプローチの有効性を示す。技術的、社会的、環境的側面を統合することで、複雑システムの効率性、安全性、回復力を高めると同時に、公平なアクセスを促進し、包括的な都市および教育環境を構築することが可能となる。これらのアプローチは、個人の生活の質を向上させるだ

けでなく、急速に変化する環境に適応可能で持続可能かつ社会的責任のあるシステムの発展に寄与する。

課題と展望

統合の欠如による知識の断片化リスク

複雑システムにおけるイノベーションの開発および実装における主要課題の一つは、異なる学問領域やセクター間で知識が断片化されることである。効果的な統合メカニズムが存在しない場合、知識の断片化は努力の重複、専門知識の十分な活用の欠如、最適でないあるいは誤った解決策の出現につながる可能性がある。この問題は、構成要素間の相互作用が間接的、非線形、かつ動的である高複雑システムにおいて特に顕著であり、あるレベルでの誤りや非効率性がシステム全体に波及し、連鎖的影響を引き起こすことがある。

知識の断片化の影響は単なる非効率にとどまらない。重要な相互依存関係の特定を阻害し、システムの適応能力を低下させ、革新的突破口の可能性を制限する。学際的環境では、調整されていない研究開発活動が方法論の対立、技術の非互換性、データ収集および分析フレームワークのギャップを生むことがある。このようなギャップは、意思決定者がシステムを包括的に理解する能力を損ない、戦略的計画、運用管理、政策立案におけるリスクを高める。

これらのリスクに対処するためには、学際的な協力、データおよび知見共有のプラットフォーム、システム思考フレームワークの採用など、知識統合のための構造化されたアプローチが必要である。オントロジー、統合モデリング環境、共同プロジェクト管理手法などのツールは、多様な専門知識を統合し、革新のための一貫した戦略を作成するのに役立つ。さらに、人工知能およびビッグデータ解析を含む高度な情報技術の統合により、知識フローの調整が強化され、リアルタイムの意思決定を支援することで断片化を軽減し、複雑システムの回復力、適応性、および全体的な有効性を向上させることができる。

知識断片化を緩和する効果的な戦略の開発は、複雑システムが持続的に革新する能力を高める上で重要な課題であると同時に、大きな機会でもある。学際的統合を促進することで、組織やコミュニティは、イノベーションが技術的に優れているだけでなく、社会的に関連性があり、環境的に持続可能で、変化する状況や予期せぬ混乱に適応可能であることを保証できる。

規制および技術基準の調和に関する課題

複雑システムにおけるイノベーションの発展において、重要な課題の一つは、異なるセクター間で規制枠組みと技術基準を調和させることである。各産業は独自の技術規範、安全規制、コンプライアンスプロトコルに従って運営されており、これらが一貫性を欠いたり、矛盾したり、場合によっては相互排他的であることもある。このような不一致は、政府機関、民間企業、市民社会組織の協働を必要とする複雑システムにおいて、革新的ソリューションの統合に対する大きな障害となる。

標準化の欠如は、相互運用性を阻害し、エラーのリスクを増加させ、システム運用全体の効率性を低下させる可能性がある。例えば、コンポーネントやサブシステム間で技術仕様が異なる場合、統合はコストが高く、時間がかかり、失敗の可能性が高くなる。さらに、規制の不一致は、新技術の採用を妨げる可能性があり、法的コンプライアンス要件や安全認証はセクターや管轄区域によって異なる。この課題は、高度に相互接続され動的に相互作用するシステムにおいて特に顕著であり、あるコンポーネントが基準を満たさない場合、その影響はシステム全体に波及し、効率性の低下や重大な故障を引き起こすことがある。

この問題に対処するためには、技術基準の整合、セクター横断的な規制枠組みの開発、適応型ガバナンスモデルの実装を含む協調的アプローチが必要である。機関間作業グループ、国際標準の採用、共同認証プロセスなどのメカニズムは、異なる要求の調整を促進し、システム構成要素間の整合性を高める。また、リアルタイムモニタリング、コンプライアンス検証、標準化支援のためのデジタルプラットフォームを統合することで、透明性が向上し、紛争が軽減され、より迅速なイノベーション展開が可能となる。

技術および規制基準の調和は単なる手続き的必要性にとどまらず、学際的イノベーションの成功に向けた戦略的推進力である。複雑システム全体において互換性、安全性、運用効率を確保することで、標準化された基準は、技術的不適合、規制違反、システムの断片化に関連するリスクを最小化しつつ、組織の持続可能な革新能力を高める。急速に変化する技術的、社会的、環境的条件下では、この整合性は回復力があり、適応可能で統合されたシステム開発の基盤となる。

セクター横断型パートナーシップの必要性

複雑システムにおけるイノベーションの成功は、公共機関、民間企業、学術・研究機関、市民社会組織など複数セクター間の積極的かつ戦略的な協力を依存することが増えている。セクター横断型パートナーシップは

、リソースの統合、多様な能力の結集、集合的専門知識の活用に不可欠である。異なる領域から知識や能力を統合することで、これらのパートナーシップは革新的ソリューションのスケラビリティ、持続可能性、有効性を高める。

新しい形態のセクター横断型協力には、共同研究プラットフォーム、イノベーションハブ、協力ネットワーク、多者ステークホルダー連合などが含まれ、知識交換と協調的課題解決を促進する。共同研究プラットフォームは、学際的チームが効率的に革新を開発・検証できるよう、共有インフラ、計算ツール、データリソースを提供する。イノベーションハブは実験の触媒として機能し、スタートアップ、パイロットプロジェクト、研究と実務の橋渡しとなる技術移転活動を支援する。多者ステークホルダー連合は、規制枠組み、技術基準、社会的ニーズの調整をさらに促進し、革新が技術的に堅牢で社会的に受容可能であることを保証する。

このようなパートナーシップの必要性は、課題が多面的かつ相互依存적である複雑システムにおいて特に顕著である。例えば、都市の持続可能性プロジェクトでは、市当局、エネルギー供給者、大学、NGOの協力により、スマートインフラ、再生可能エネルギー、包摂的技術の展開が加速される。同様に、医療システムでは、医療機関、技術企業、研究所の協力により、デジタルヘルスツール、遠隔医療プラットフォーム、適応型ケアモデルの統合が可能となり、多様な患者ニーズに効果的に対応できる。

運用効率の向上に加え、セクター横断型パートナーシップは複雑システムの回復力と適応性を促進する。継続的なフィードバックループ、リアルタイムデータ共有、共同意思決定を可能にすることで、不確実性、資源制約、技術的混乱に関連するリスクを軽減する。また、革新の普及を促進し、成功事例や最良の実践を新たな文脈に再適用・適応できるようにする。

結論として、新しい形態のセクター横断型パートナーシップの構築は単なる補助的措置ではなく、学際的イノベーションの推進における戦略的必須要素である。組織間のリソース、知識、専門性を統合する枠組みを創出することで、複雑システムは動的な環境、社会的課題、技術的課題に対応し、持続可能かつ包摂的な発展を促進する能力を高める。

学際的イノベーションのための汎用プラットフォーム開発の展望

複雑システムにおけるイノベーションの発展において、主要な展望の一つは、多様な分野の専門家間の相互作用を促進し、自動化されたデータ分析を可能にし、イノベーション実装プロセスの管理を支援する**汎用的

統合プラットフォーム **の開発である。これらのプラットフォームは、技術的・分析的・組織的ツールを統合する協働基盤として機能し、学際的課題解決のための統一された環境を提供する。

このような汎用プラットフォームは、以下の主要構成要素を含むことができる。

- デジタル協働ハブ：

異なる分野の専門家間のシームレスなコミュニケーションと知識共有を可能にする仮想環境であり、共創および学際的プロジェクト開発を促進する。

- ビッグデータ分析およびシナリオモデリングツール：

大規模データセットの処理、潜在的結果のシミュレーション、および提案されたイノベーションのシステムの影響の評価を可能にする計算モジュール。

- 人工知能（AI）に基づく適応型意思決定システム：

プロセスの最適化、リスク予測、戦略的行動の推奨を行い、動的環境下での意思決定の精度と速度を高めるAI駆動型ツール。

- 標準化統合モジュール：

多様な技術や方法論を調和させるために設計された相互運用可能なコンポーネントであり、技術的障壁を低減し、複数のシステムタイプにわたる一貫した実装を確保する。

このようなプラットフォームの構築は、複雑システムにおける中心的課題の一つである知識の断片化（knowledge fragmentation）に対処するものである。学際的協働のための共有枠組みを提供することにより、冗長性を削減し、知的資源の活用を向上させ、研究知見を実践的ソリューションへと効果的に転換することが可能となる。さらに、これらのプラットフォームは、都市インフラ、エネルギーシステム、医療ネットワーク、環境管理など、多様な文脈におけるイノベーションのスケラビリティ（拡張性）と適応性を高め、迅速な展開を可能にする。

加えて、汎用プラットフォームは**継続的学習と反復的改善（continuous learning and iterative improvement）**の機会を創出する。リアルタイムモニタリング、フィードバックメカニズム、AI支援分析を統合することで、組織はイノベーション戦略を動的に洗練し、新たな課題に対応し、システム全体の性能を最適化できる。また、透明性と再現性を促進し、革新的実践がセクターを越えて評価・再現・適応されることを保証する。

総括すると、学際的イノベーションのための汎用プラットフォームの開発は、現代システムにおける複雑性管理のための変革的アプローチ（transformative approach）である。技術統合、データ駆動型意思決定、学際的協働を結合することにより、これらのプラットフォームは複雑システムの有効性（effectiveness）、レジリエンス（resilience）、および**持続可能性（sustainability）**を強化し、加速されたイノベーションと広範な社会的インパクトへの道を切り拓く。

結論（Conclusion）

本研究は、複雑システムにおけるイノベーションが最大の効果を発揮するのは、**学際的アプローチ（multidisciplinary approach）によるものであることを確認した。多様な分野からの知識・方法論・技術の統合は、適応性（adaptability）、レジリエンス（resilience）、およびシステム全体の性能（overall system performance）**を強化する。

主要な知見は以下の通りである：

- 共通するシステムパターン（Common Systemic Patterns）：

技術、社会、生態、防衛、医療といった異なる領域にもかかわらず、複雑システムには普遍的なイノベーション発展の原理が存在する。これらのパターンを認識することは、セクター間におけるベストプラクティスの移転と効率的なイノベーション戦略の策定を支援する。

- 統合によるシナジー（Synergy through Integration）：

工学、情報技術、生物学、社会科学を横断的に結合することにより、予測精度、運用効率、および人間と環境への応答性が向上する。特に防衛分野においては、熱的耐性および熱迷彩技術（thermal resistance and camouflage technologies）がAIおよびデータ解析と統合されることで、複合的なシステム防御能力が強化される。

- 方法論的ツール（Methodological Tools）：

システム分析（systems analysis）、プロジェクト管理、協働プラットフォーム、およびビッグデータ分析などのツールは、体系的なイノベーション統合、影響評価、適応的マネジメントを可能にする。

- 応用分野（Application Domains）：

学際的イノベーションは、エネルギーシステム、防衛技術、都市生態学、および**包摂的環境設計（inclusive environments）**などの分野で測定可能な成果を生み出す。

一方で、基準の調和、知識の断片化の抑制、および**セクター間パートナーシップの促進（fostering cross-sector partnerships）には依然として課

題が存在する。これらの課題に対処することにより、一貫性（coherence）、拡張性（scalability）、および持続可能性（sustainability）**を備えたイノベーションプロセスを実現できる。

総括すると、学際的アプローチは、複雑システムの技術的・社会的・生態的次元を統合するための枠組みを提供する。それにより、さまざまな領域においてレジリエンス、効率性、および**持続可能性**が強化され、包括的で適応的な発展が可能となる。

参考文献（References）

1. バル＝ヤム, Y. 『複雑系のダイナミクス』 アディソン＝ウェスリー社, 1997年.
2. ヘルビング, D. 「グローバルネットワーク化されたリスクとその対応」『ネイチャー』 497号, 51–59頁, 2013年.
3. サイモン, H. A. 「複雑性の構造」『アメリカ哲学会紀要』 106巻6号, 467–482頁, 1962年.
4. メドウズ, D. H. 『システム思考入門』 チェルシー・グリーン出版, 2008年.
5. ハヴリリユク, V. M. 「複雑な社会経済プロセスにおけるシステム分析」『キーウ・シェフチェンコ大学経済学報』 第4巻(217号), 11–18頁, 2020年.
6. カラヤニス, E. G., キャンベル, D. F. J., レフマン, S. S. 『クアドラプル・ヘリックス・イノベーション・システムにおけるモード3知識生産』 シュプリンガー社, 2021年.
7. チャン, H., リ, Y., ワン, Z. 「防衛イノベーションにおける複雑適応システム」『ディフェンス・テクノロジー』 19巻3号, 342–355頁, 2023年.
8. リー, J., バゲリ, B., カオ, H. A. 「インダストリー4.0に基づく製造システムのためのサイバー・フィジカル・システムアーキテクチャ」『マニュファクチャリング・レターズ』 28号, 24–30頁, 2021年.
9. メルニク, V., シェフチェンコ, R., ボンダレンコ, L. 「都市ヒートアイランド現象の緩和戦略と気候適応」『エンバイロメンタル・リサーチ・レターズ』 15巻11号, 1–15頁, 2020年.
10. ティモシェンコ, V. 「障害者のためのデジタル・アクセシビリティ：方法と技術」『社会イノベーション・ジャーナル』 14巻1号, 55–72頁, 2022年.

Блок 5_Екологія громад / *Block 5_Community Ecology*

Блок присвячено дослідженню екологічної стійкості громад, розвитку біоенергетичних систем та інноваційних підходів до управління відходами. Основна увага приділяється формуванню збалансованого середовища, у якому поєднуються екологічні, соціальні та технологічні аспекти розвитку територій. Аналізується потенціал місцевих ресурсів, циркулярної економіки та використання енергії з відновлюваних джерел як ключових елементів екологічної трансформації громад.

This block focuses on studying community ecological resilience, the development of bioenergy systems, and innovative approaches to waste management. It emphasizes the creation of a balanced environment integrating ecological, social, and technological dimensions of territorial development. The analysis explores the potential of local resources, circular economy principles, and renewable energy as key drivers of ecological transformation.

Другий аспект дослідження охоплює стратегії управління відходами — від енергетичного використання біомаси до впровадження інтелектуальних систем збору, переробки та утилізації. Розглядаються моделі, що поєднують інженерні, економічні та правові механізми задля підвищення екологічної безпеки та енергоефективності громад.

The second research focus addresses waste management strategies — from energy utilization of biomass to the implementation of intelligent systems for collection, processing, and recycling. The block discusses models combining engineering, economic, and legal mechanisms to enhance environmental safety and energy efficiency within communities.

Завершальний напрям охоплює вивчення соціально-екологічної взаємодії: ролі освіти, інноваційних технологій та громадської участі у формуванні екологічної культури. Такий підхід сприяє розвитку адаптивних екосистем, що підтримують сталий розвиток і підвищують якість життя.

The final dimension covers the study of socio-ecological interaction: the role of education, innovative technologies, and civic engagement in shaping ecological culture. This approach fosters the development of adaptive ecosystems that sustain long-term development and improve quality of life.

[UA_7]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Біоенергетика та управління відходами

Анотація

В сучасних громадах управління органічними відходами є фундаментальним елементом сталого розвитку та екологічного управління. Ефективні стратегії обробки харчових залишків, сільськогосподарських побічних продуктів та біорозкладних міських відходів не лише вирішують екологічні проблеми, але й підвищують стійкість локальних економік. Анаеробне зброджування виступає однією з найбільш перспективних технологічних стратегій, забезпечуючи трансформацію потоків органічних відходів у відновлювану енергію у вигляді електроенергії, тепла та холоду. Паралельно цей процес виробляє високоякісні органічні добрива, які можуть бути повернені в аграрні системи, замкнувши цикли поживних речовин та підвищивши родючість ґрунтів.

Подвійна функція анаеробного зброджування — відновлення енергії та рециркуляція поживних речовин — позиціонує його на перетині охорони навколишнього середовища, енергетичного переходу та практик циркулярної економіки. Завдяки зменшенню викидів метану від неконтрольованого розкладання, зниженню залежності від викопних видів палива та наданню сталих альтернатив синтетичним добривам, ця технологія сприяє пом'якшенню змін клімату та підтримує низьковуглецеву траєкторію розвитку. Крім того, інтеграція біоенергетичних систем у муніципальну інфраструктуру сприяє енергетичній самодостатності, підвищує ефективність управління відходами та створює можливості для інновацій і «зелених» робочих місць. Таким чином, біоенергетика з органічних відходів є не лише технологічним досягненням, але й стратегічним шляхом досягнення глобальних цілей сталого розвитку та підвищення стійкості громад перед викликами навколишнього середовища.

Ключові слова: біоенергетика, анаеробне зброджування, управління органічними відходами, відновлювана енергія, циркулярна економіка, сталий розвиток, рециркуляція поживних речовин, низьковуглецевий перехід

Вступ

Швидке зростання обсягів побутових, промислових та сільськогосподарських відходів стало одним із визначальних екологічних викликів XXI століття. Ця тенденція посилює тиск на полігони, природні екосистеми та здоров'я населення, водночас спричиняючи значне зростання викидів парникових газів, зокрема метану та вуглекислого газу, що прискорює зміни клімату [1, 2]. Неконтрольоване розміщення відходів не лише погіршує якість ґрунтів та водних ресурсів, а й підвищує попит на нові земельні ресурси, створюючи довгострокові ризики для сталого розвитку як міських, так і сільських територій.

У цьому контексті біоенергетика виступає ключовою стратегією трансформації потоків органічних відходів у цінні ресурси, що сприяють одночасно охороні довкілля та соціально-економічній стабільності. Завдяки процесам, таким як анаеробне зброджування та інші біотехнологічні підходи, органічні залишки — включно з харчовими відходами, сільськогосподарськими побічними продуктами та біорозкладними промисловими матеріалами — можуть бути перетворені на відновлювані форми енергії, а саме електроенергію, тепло та холод. Паралельно ці процеси виробляють біодобрива, багаті на поживні речовини, які підвищують родючість ґрунтів та зменшують залежність від хімічних добрив [3, 4].

Застосування біоенергетичних рішень сприяє реалізації принципів циркулярної економіки, забезпечуючи безперервне повторне використання матеріалів замість їх утилізації. Такі системи знижують екологічне навантаження шляхом зменшення обсягів відходів, що спрямовуються на полігони, та уловлювання викидів метану, які в іншому разі потрапляли б в атмосферу. Крім того, інтеграція біоенергетики в інфраструктуру громад сприяє локальній енергетичній самодостатності, підтримує низьковуглецевий перехід та створює основу для «зелених» інновацій. Таким чином, управління відходами на основі біоенергетики є не просто технологічною альтернативою, а системним підходом до подолання змін клімату, нестачі ресурсів та нагальної потреби у сталому розвитку громад.

Матеріали та методи

Для комплексного аналізу та науково обґрунтованої оцінки ефективності використання органічних відходів у біоенергетиці необхідно класифікувати різні потоки відходів сучасних соціально-економічних систем. Органічні відходи є гетерогенними, з різними фізичними, хімічними та біологічними

властивостями, що впливають на шляхи конверсії, ефективність анаеробного зброджування та екологічні наслідки. Тому їх класифікація є не лише описовою, а й методологічною основою для системної оцінки, порівнянності досліджень та розробки адаптованих технологічних рішень.

Вибрані групи відходів відображають гетерогенність органічної маси в домогосподарствах, закладах харчування, сільському господарстві, промисловості та муніципальній зеленій інфраструктурі. Харчові відходи швидко біорозкладаються й придатні для прямого анаеробного зброджування. Сільськогосподарські залишки (солома, стебла) містять лігноцелюлозу й потребують попередньої обробки для оптимізації біогазу. Промислові побічні продукти (щепи, картон) менш біодеградовані, але підвищують енергетичний потенціал при спільній обробці з рідкими стоками. Зелений та ландшафтний матеріал (листя, трава, обрізки дерев) займає проміжну позицію і стабілізує процеси зброджування.

Ця мультисекторальна типологія підкреслює системний характер утворення органічних відходів та їх зв'язок із міським метаболізмом і сільськогосподарськими циклами. Усвідомлення відходів як частини потоків матеріалів і енергії дозволяє ефективніше розробляти стратегії сталого відновлення ресурсів.

Цей розділ окреслює ролі різних органічних відходів у виробництві біоенергії, їх технологічні шляхи перетворення та внесок у принципи циркулярної економіки (Таблиця 1).

Таблиця 1. Категорії відходів та їх потенціал у біоенергетиці

Категорія відходів	Джерела	Потенціал використання
Харчові відходи	Домогосподарства, ресторани, підприємства харчової промисловості	Біогаз, анаеробне зброджування
Сільськогосподарські відходи	Солома, залишки культур, сінаж	Біогаз, анаеробне зброджування
Промислові відходи	Деревні залишки, картон, побічні продукти деревообробної промисловості	Біогаз, анаеробне зброджування після зволоження стічними водами
Зелений/ландшафтний органічний матеріал	Трава, листя, обрізки дерев	Біогаз, анаеробне зброджування

Джерело: Розробка автора

Вибрані категорії охоплюють як біорозкладні (харчові, сінаж), так і стійкі лігноцелюлозні матеріали (солома, деревина), поєднання яких у біоенергетичних системах підвищує енергетичну ефективність і забезпечує екологічну збалансованість.

Технології переробки відходів

Перетворення органічних відходів у відновлювану енергію та сільськогосподарські побічні продукти забезпечується комплексом усталених і новітніх технологій:

- Системи комбінованого виробництва тепла та електроенергії (СНР) і тригенераційні установки. Такі системи забезпечують одночасне виробництво електроенергії, тепла та холоду для місцевого споживання, що суттєво підвищує загальну енергоефективність у порівнянні з традиційними системами, орієнтованими на один енергетичний вихід.
- Анаеробне зброджування (біогазові установки). Цей процес передбачає мікробіологічне розкладання органічної речовини в анаеробних умовах (без доступу кисню) з утворенням біогазу (переважно метану та CO₂) і дигестату — побічного продукту, збагаченого поживними речовинами. Інтеграція анаеробного зброджування з технологіями СНР або тригенерації дає змогу ефективно перетворювати біогаз у кілька форм енергії, одночасно замкнувши цикли поживних речовин [5].
- Екологічні переваги. Екологічний ефект досягається шляхом заміщення викопних видів палива, зниження викидів метану та вуглекислого газу від неконтрольованого розкладання органічних матеріалів, а також виробництва органічних добрив, які можуть замінювати синтетичні агрохімікати у системах органічного землеробства.

Технологічний цикл перетворення відходів в енергію може бути схематично представлений наступним чином (Рисунок 1).

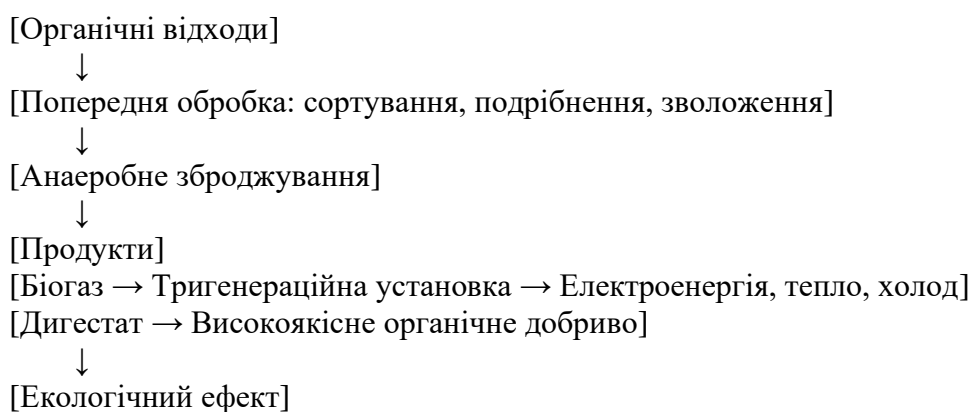


Рисунок 1. Схематичне представлення шляху перетворення відходів у біоенергію та екологічних переваг

Джерело: Розробка автора

Дана система управління відходами демонструє ланцюг «Відходи → Анаеробне зброджування → Тригенерація → Екологічний ефект», який виступає концептуальною основою сталого управління ресурсами на рівні місцевих громад.

Екологічне обґрунтування

Екологічно безпечне управління органічною сировиною забезпечує численні екологічні та соціально-економічні переваги. Процес суттєво зменшує викиди метану, потенціал глобального потепління якого приблизно у 28 разів вищий, ніж у CO₂. Відведення відходів від полігонів знижує навантаження на муніципальні системи управління відходами, продовжує термін служби полігонів та зменшує ризик забруднення фільтратами. Крім того, використання дигестату як добрива підвищує вміст органічної речовини у ґрунті, покращує водозатримуючу здатність та сприяє збереженню біорізноманіття, тим самим зміцнюючи принципи сталого сільського господарства та циркулярної економіки.

Оцінка енергетичного потенціалу

Для оцінки потенційної чистої енергії, яку можна відновити з органічних відходів, застосовується кількісна модель (формула 1).

$$E_{net} = \sum_{i=1}^n W_i CV_i \eta_{\text{biogas}} (1 - MC_i) \quad (1)$$

де:

E_{net} - чиста відновлювана енергія з відходів (кВт·год);

i - тип відходів (харчові, сільськогосподарські, промислові, зелені);

W_i - маса відходів типу i (тонни);

CV_i - калорійність відходів типу i (кВт·год/т);

η_{biogas} - ефективність перетворення біогазу у електроенергію, тепло або холод;

MC_i - вологість відходів типу i (доля, 0–1).

Джерело: Розробка автора

Цей методологічний підхід дозволяє здійснювати порівняльну оцінку різних категорій відходів за їх енергетичним потенціалом, з урахуванням варіабельності рівня вологості, калорійності та ефективності технологічного перетворення [6, 7, 8]. Модель забезпечує надійну основу для оптимізації вибору сировини та проектування біоенергетичних установок на рівні громад, які відповідають цілям сталого розвитку.

Практичні рекомендації для громад

Успішна реалізація біоенергетичних ініціатив на рівні громади вимагає не лише технологічних інновацій, а й комплексного підходу, що інтегрує розвиток інфраструктури, оптимізацію ресурсів та активну участь громадськості. На основі сучасних досліджень та практичних напрацювань можна запропонувати кілька практичних рекомендацій для муніципалітетів, сільськогосподарських підприємств та місцевих громад, які прагнуть впровадити біоенергетику як частину своїх стратегій сталого розвитку.

- Впровадження локальних біогазових модулів
 - Біогазові установки малого та середнього масштабу є життєздатним і адаптивним рішенням для житлових кварталів, сільськогосподарських підприємств та муніципальних об'єктів. Такі модульні системи особливо вигідні, оскільки їх можна встановлювати безпосередньо на місці утворення відходів, що зменшує витрати та екологічний вплив, пов'язаний з транспортуванням відходів. Крім того, децентралізовані біогазові установки підвищують енергетичну самодостатність громади, виробляючи відновлювану енергію близько до точки споживання, що забезпечує стійкість у періоди енергетичної нестабільності або перебоїв у постачанні.
- Зволоження сухих потоків відходів
 - Однією з проблем виробництва біоенергії, особливо з сільськогосподарських залишків або промислових побічних продуктів, є низький вміст вологи. Для оптимізації процесу анаеробного зброджування рекомендується використовувати очищені стічні води муніципальних очисних споруд для регулювання водного балансу сировини. Такий підхід одночасно покращує біорозкладність сухих фракцій відходів та сприяє частковому очищенню й повторному використанню стічних вод, тим самим реалізуючи принципи інтегрованого управління ресурсами та циркулярної економіки.
- Інтеграція з тригенераційними системами
 - Спільне використання біогазу в системах комбінованого виробництва тепла, електроенергії та холоду (СНР/тригенерація) суттєво підвищує загальну енергоефективність біоенергетичних проєктів. Громади можуть інтегрувати тригенераційні установки на базі біогазу в об'єкти громадської інфраструктури, такі як школи, лікарні, адміністративні будівлі та культурні центри. Забезпечуючи електроенергію, опалення та холод з одного відновлюваного джерела, такі системи зменшують залежність від викопного палива, стабілізують місцеві енергетичні витрати та сприяють пом'якшенню змін клімату шляхом зниження викидів парникових газів.
- Виробництво органічних добрив
 - Дигестат, що утворюється як побічний продукт анаеробного зброджування, є багатим на поживні речовини матеріалом, який можна застосовувати в органічному землеробстві, відновленні ґрунтів та міському озелененні. При належній обробці дигестат покращує структуру ґрунту, стимулює мікробну активність та поповнює ключові поживні елементи, такі як азот, фосфор та калій. Громади можуть

використовувати цей ресурс як у сільськогосподарських угіддях, так і для озеленення громадських просторів, парків та деградованих земель, пов'язуючи біоенергетичні проекти з ширшими екологічними та соціальними вигодами.

- Сортивання та попередня обробка відходів
 - Ефективне сортування та механічна або біологічна попередня обробка органічних відходів перед зброджуванням суттєво підвищують ефективність та надійність процесу. Видалення забруднювачів, таких як пластик, метали чи небезпечні речовини, мінімізує ризик поломок системи та підвищує якість кінцевих продуктів — біогазу та дигестату. Впровадження систем роздільного збору відходів на рівні домогосподарств та муніципалітетів є критично важливою передумовою успіху біоенергетичних ініціатив.
- Освітні та комунікаційні заходи
 - Технічних рішень недостатньо для забезпечення сталості біоенергетичних проектів на рівні громад. Не менш важливо залучати мешканців через безперервні освітні та комунікаційні заходи. Необхідно організовувати навчальні програми, громадські кампанії та семінари для підвищення обізнаності щодо переваг біоенергетики, важливості сортування відходів та загальної ролі відновлюваної енергії у сталому розвитку. Участь громади не лише підвищує ефективність збору та переробки відходів, але й формує соціальну підтримку та довгострокову прийнятність біоенергетичної інфраструктури.

Загалом, ці рекомендації демонструють, що впровадження біоенергетики в громадах — це не лише питання впровадження нових технологій, а цілісний процес, що поєднує технічні, екологічні, економічні та соціальні аспекти. Реалізація локалізованих та інтегрованих стратегій дозволяє муніципалітетам зменшити екологічне навантаження, сприяти використанню відновлюваної енергії та підвищити стійкість населення у переході до низьковуглецевого майбутнього.

Обґрунтування

Методологічна основа оцінки енергетичного потенціалу органічних відходів ґрунтується на кількох взаємопов'язаних принципах, що забезпечують наукову точність, порівнянність та практичну застосовність отриманих результатів. Ґрунтовне обґрунтування змінних, використаних у розрахунковій моделі, є необхідним для встановлення як надійності енергетичних прогнозів, так і валідності подальших політичних або інвестиційних рішень. Наступні аспекти становлять основу аналітичного підходу:

- Сумування за категоріями відходів
 - Агрегація даних за кількома типами органічних відходів є критичною, оскільки різні потоки відходів мають відмінні фізичні та хімічні характеристики. Сумуючи внески харчових залишків, сільськогосподарських побічних продуктів, промислової біомаси та зелених відходів, модель відображає гетерогенність доступності сировини у конкретній громаді або регіоні. Такий підхід забезпечує, що розрахований енергетичний потенціал відображає комплексну реальність генерації відходів, а не зосереджується виключно на одному субстраті. Методологія таким чином відповідає принципам системного мислення та циркулярної економіки, визнаючи, що взаємодія між різними категоріями відходів часто підвищує загальну ефективність через процеси спільного зброджування.
- Маса відходів як детермінанта енергетичного потенціалу
 - Кількісна наявність органічних відходів (вимірювана у тоннах або кілограмах) безпосередньо впливає на масштаб виробництва енергії. Навіть якщо категорія відходів має відносно низьку калорійність, достатньо великий обсяг може зробити її важливим внеском у баланс біоенергії. Навпаки, залишки з високою енергетичною щільністю можуть мати обмежений вплив, якщо їхня маса незначна в локальному контексті. Тому точний збір даних про обсяги утворення відходів на рівні домогосподарств, муніципалітетів та промислових підприємств є незамінним для реалістичного енергетичного планування та проектування потужностей біогазових установок.
- Калорійність і коефіцієнти ефективності
 - Внутрішній енергетичний потенціал відходів, кількісно визначений через їх калорійність, є фундаментальним показником придатності до енергетичного використання. У поєднанні з технологічною ефективністю перетворення біогазу він визначає чистий енергетичний вихід, досяжний у конкретній системі. Ці параметри зазвичай встановлюються на основі міжнародно визнаних технічних стандартів, емпіричних лабораторних вимірювань та рецензованих наукових досліджень. Пов'язані коефіцієнти ефективності відображають частку хімічної енергії субстрату, яку можна ефективно захопити та перетворити у придатну електроенергію, тепло або холод. Таким чином, оцінка калорійності та ефективності перетворення забезпечує критичний міст між теоретичним енергетичним потенціалом і практичними, вимірюваними результатами.
- Корекція на вологість

- Вологість є критичною корекційною величиною, оскільки частина загальної маси органічних відходів складається з води, яка не сприяє виробництву енергії. Високий вміст води знижує ефективну калорійність субстрату, зменшуючи енергію, яку можна отримати під час анаеробного зброджування або спалювання. Інтегруючи корекцію на вологість у розрахунок, модель розрізняє продуктивну біомасу та інертну масу, забезпечуючи більш точне представлення чистого енергетичного потенціалу. Крім того, така корекція дозволяє визначити категорії сировини, що можуть потребувати попередньої обробки, наприклад зневоднення або змішування з більш сухими матеріалами, для підвищення стабільності процесу та енерговіддачі.

Результати

Оцінка енергетичного потенціалу, отриманого з різних категорій органічних відходів, забезпечує кількісну основу для аналізу як екологічних, так і економічних переваг впровадження децентралізованих біоенергетичних систем. Нижче наведені результати базуються на існуючих дослідженнях, технічних рекомендаціях та практичних реалізаціях у порівнянних регіональних контекстах. Вони висвітлюють не лише масштаб виробництва енергії, а й ширші екологічні та соціально-економічні вигоди, пов'язані з циркулярним використанням ресурсів відходів.

- Потенційна енергетична віддача з однієї тонни органічних відходів:
 - Харчові відходи: приблизно 100–150 кВт·год електроенергії та 300–400 кВт·год теплової енергії. Відносно помірний вихід пояснюється високим вмістом води та варіабельною калорійністю харчових залишків. Проте, з огляду на постійні та значні обсяги, що утворюються в міських та передміських громадах, харчові відходи становлять стабільне та прогнозоване джерело енергії при переробці через анаеробне зброджування або спільне зброджування.
 - Солома та сільськогосподарські залишки: приблизно 150–200 кВт·год електроенергії та 400–500 кВт·год теплової енергії. Сільськогосподарські побічні продукти демонструють вищу енергоефективність через стабільніший вміст сухої речовини та калорійність. Їх використання в біогазових або біомасових системах також сприяє зменшенню відкритого спалювання на полях, яке є основним джерелом викидів парникових газів та локальних забруднювачів повітря.
 - Деревні відходи: приблизно 200–250 кВт·год електроенергії та 500–600 кВт·год теплової енергії. Деревна біомаса має найвищий енергетичний потенціал на тонну завдяки підвищеній калорійності та нижчому вмісту

вологи. Хоча вона потребує специфічних попередніх обробок, таких як подрібнення або гранулювання, її інтеграція в системи комбінованого виробництва тепла та електроенергії (CHP) забезпечує стабільне та високоефективне перетворення енергії.

- Зменшення викидів метану та CO₂ порівняно з традиційними полігонами:
 - Наукові оцінки свідчать, що впровадження систем перетворення відходів в енергію може забезпечити зниження викидів метану (CH₄) та вуглекислого газу (CO₂) до 60–70 % порівняно з традиційним захороненням на сміттєзвалищах [1]. Це особливо важливо з урахуванням значно вищого потенціалу глобального потепління (GWP) метану порівняно з CO₂. Відведення біорозкладних відходів від неконтрольованого анаеробного розкладу на полігонах дозволяє біоенергетичним системам ефективно виконувати національні зобов'язання в рамках міжнародних кліматичних угод, зокрема Паризької угоди.
- Економічний ефект та ефективність ресурсів:
 - Економічні переваги біоенергетичних систем масштабу громади виходять за межі заміщення викопного палива. Впровадження технологій перетворення відходів у енергію дозволяє муніципалітетам суттєво знизити витрати на утилізацію відходів, особливо в регіонах, де податки на полігони, транспорт та утримання сміттєзвалищ становлять значне фінансове навантаження. Крім того, біоенергетичні системи створюють можливості для отримання доходу через продаж відновлюваної електроенергії, постачання тепла у місцеві мережі або системи центрального опалення, а також реалізацію дигестату як органічного добрива, придатного для сталого землеробства, озеленення та відновлення ґрунтів.
- Ширші системні переваги:
 - Поза прямими енергетичними та фінансовими аспектами, впровадження біоенергетики сприяє енергетичній самодостатності на локальному рівні, підвищуючи стійкість громад у періоди енергетичної нестабільності або перебоїв у централізованому постачанні. Воно також підтримує створення робочих місць у процесах встановлення, експлуатації та обслуговування біоенергетичних установок, стимулюючи регіональний економічний розвиток. Крім того, дотримання принципів циркулярної економіки зміцнює екологічну відповідальність, зменшує залежність від невідновлюваних ресурсів та сприяє соціальній прийнятності сталих практик.

Узагальнено, ці результати підкреслюють подвійну екологічну та економічну мотивацію для розвитку біоенергетичних систем масштабу громади. Вони також демонструють важливість інтеграції техніко-економічних досліджень з політичними заходами, що стимулюють перехід до сталого використання відходів для виробництва енергії.

Обговорення

Використання біогазу як відновлюваного джерела енергії демонструє високу ефективність, особливо для вологих органічних відходів, таких як харчові залишки, побічні продукти фруктово-овочевої переробки та окремі сільськогосподарські відходи (силос, гній). Ці субстрати сприятливі для анаеробного зброджування завдяки високому вмісту вологи, швидкій біодеградації та відносній однорідності, що підвищує активність мікроорганізмів і стабільність виробництва біогазу. Анаеробний процес здійснюється консорціумом мікроорганізмів, включно з гідролітичними бактеріями, кислотоутворюючими та метаногенними мікроорганізмами, що забезпечують виробництво метану та CO₂.

Оптимізація складу субстрату критично важлива для максимізації виходу метану та стабільності системи. Вплив мають співвідношення вуглець/азот (C/N), рН, температура та гідравлічний час утримання. Наприклад, C/N 20–30:1, нейтральний або слабко-лужний рН (6,8–7,4) та мезофільні температури (35–40°C) створюють оптимальні умови для метаногенезу, тоді як відхилення від цих параметрів знижує продуктивність біогазу.

Практичні дослідження показують значні відмінності у потенціалі виробництва метану: харчові відходи – близько 100–150 кВт·год електроенергії на тонну; силос і гній – до 200 кВт·год на тонну. Стратегічне змішування різних типів вологих відходів стабілізує процес зброджування та підвищує вихід біогазу на 20–30 %, одночасно виробляючи якісний дигестат для органічного землеробства.

Суха біомаса (солома, деревні відходи, деякі промислові побічні продукти) потребує додаткового зволоження, щоб забезпечити дифузії органічних субстратів, баланс іонів та ефективну метаногенезу. Контрольоване додавання очищеної стічної води підвищує активність мікроорганізмів, покращує гідроліз і підвищує вихід біогазу, перетворюючи відходи на цінний ресурс та одночасно частково очищаючи воду.

Інтеграція місцевих біоенергетичних модулів у громадах дозволяє виробляти електроенергію, тепло та охолодження безпосередньо на джерелах відходів, зменшуючи транспортні витрати та втрати енергії. Малі установки (50–200 кВт) підходять для житлових кварталів та шкіл, середні (200–500 кВт) – для агропідприємств і муніципальних об'єктів. Сумісність з

тригенераційними системами підвищує загальну ефективність до 80 % порівняно з 35–45 % для традиційних установок.

Попередня обробка відходів (сортування, подрібнення, гомогенізація) критично важлива для стабільності анаеробного зброджування та якості дигестату. Видалення забруднень, зменшення розміру часток і вирівнювання складу сприяє рівномірному розвитку мікрофлори та стабільності процесу, забезпечуючи високу енергоефективність та агрономічну цінність добрива.

Децентралізовані біоенергетичні системи створюють численні економічні та соціальні вигоди: зменшують витрати на утилізацію відходів, генерують додатковий дохід від продажу електроенергії, тепла та дигестату, сприяють створенню робочих місць і підвищують енергетичну незалежність громад. Освітні програми залучають місцеве населення, стимулюють сталу поведінку та поширюють знання про циркулярну економіку.

Міжнародний досвід підтверджує ефективність модульних біоенергетичних систем у різних географічних та економічних контекстах (Німеччина, Данія, Індія, Кенія, ПАР). Інтеграція тригенераційних модулів зі смарт-мережами дозволяє оптимально розподіляти електроенергію, тепло та охолодження, підвищуючи ефективність, надійність та адаптивність систем, що є ключовим для реалізації циркулярних та сталих моделей енергетики на рівні громади.

Узагальнено, стратегічне використання органічних відходів через анаеробне зброджування, локальні модулі та інтеграцію зі смарт-мережами сприяє одночасному виробництву відновлюваної енергії, органічних добрив та соціально-економічних вигод, забезпечуючи сталий, масштабований та відтворюваний розвиток громад.

Висновки

Біоенергетика в управлінні відходами виступає ефективним інструментом реалізації принципів циркулярної економіки на рівні громад. Інтеграція анаеробного зброджування з тригенерацією дозволяє одночасно виробляти органічні добрива та біогаз, який може бути перетворений на електроенергію, тепло та холод. Така подвійна функціональність оптимізує використання ресурсів і перетворює відходи на цінне джерело енергії та поживних речовин, сприяючи сталому розвитку місцевих громад.

З екологічного погляду контрольоване анаеробне зброджування зменшує викиди метану та діоксиду вуглецю, пом'якшує вплив на зміну клімату та мінімізує використання полігонів і ризики забруднення. З економічного боку децентралізовані біоенергетичні системи знижують витрати на управління відходами, створюють «зелені» робочі місця та сприяють перерозподілу

поживних речовин через використання дигестату як органічного добрива, підтримуючи сталу сільськогосподарську практику.

Соціально, модульні біоенергетичні та тригенераційні установки підвищують енергетичну самодостатність і стійкість громад, одночасно зміцнюючи обізнаність населення щодо сталих практик.

У перспективі інтеграція модульних біоенергетичних рішень у міські та сільськогосподарські системи представляє цілісний шлях до охорони навколишнього середовища, економічної стабільності та соціальної включеності. У цьому контексті біоенергетика постає як масштабована та відтворювана модель для досягнення цілей циркулярної економіки та створення стійких і самодостатніх громад.

References

1. Honcharuk, I. (2023). Bioenergy Recycling of Household Solid Waste as a Direction for Ensuring Sustainable Communities. EPJ.
2. UABIO. (2019). Prospects of Energy Utilisation of Municipal Solid Waste in Ukraine. Bioenergy Association of Ukraine.
3. Костенко, Д. М. (2021). Обґрунтування економічної доцільності виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні. Харків: Інститут регіональних економічних досліджень НАН України.
4. Pimenov, S. (2025). Transforming Agriculture into Energy: Unlocking Ukraine's Bioenergy Potential. MDPI.
5. Weiland, P. (2010). Biogas Production: Current State and Perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(4), 849–860.
6. ДБН В.2.5-23:2018. Теплові мережі. Основні положення. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2018.
7. ДСТУ EN 15359:2011. Тверде відновлене паливо. Специфікація та класи. Київ: Державний споживчий стандарт України, 2011.
8. López, J., et al. (2020). Energy Potential from Organic Waste via Anaerobic Digestion and Gasification. Renewable Energy, 147, 1980–1992.

[EN_7]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Bioenergy and Waste Management

Abstract

In contemporary communities, the management of organic waste represents a fundamental pillar of sustainable development and environmental governance. Effective strategies for handling food residues, agricultural by-products, and biodegradable municipal waste not only address ecological concerns but also contribute to the resilience of local economies. Anaerobic digestion emerges as one of the most promising technological solutions, enabling the transformation of organic waste streams into renewable energy in the form of electricity, heat, and cooling. In parallel, the process generates high-quality organic fertilizers that can be reintegrated into agricultural systems, thereby closing nutrient cycles and enhancing soil fertility.

The dual function of anaerobic digestion—energy recovery and nutrient recycling—positions it at the intersection of environmental protection, energy transition, and circular economy practices. By reducing methane emissions from uncontrolled decomposition, decreasing reliance on fossil fuels, and providing sustainable alternatives to synthetic fertilizers, this technology contributes to climate change mitigation and promotes a low-carbon development trajectory. Furthermore, the integration of bioenergy systems into municipal infrastructure fosters energy self-sufficiency, improves waste management efficiency, and creates opportunities for innovation and green job creation. Thus, bioenergy from organic waste is not only a technological advancement but also a strategic pathway toward achieving global sustainable development goals and enhancing community resilience in the face of environmental challenges.

Keywords: bioenergy, anaerobic digestion, organic waste management, renewable energy, circular economy, sustainable development, nutrient recycling, low-carbon transition

Introduction

The rapid increase in the generation of household, industrial, and agricultural waste has become one of the defining environmental challenges of the twenty-first century. This trend exerts growing pressure on landfills, natural ecosystems, and public health, while simultaneously contributing to a significant rise in greenhouse gas emissions, particularly methane and carbon dioxide, which accelerate climate change [1, 2]. Uncontrolled waste disposal not only degrades soil and water quality but also intensifies the demand for new land resources, thereby creating long-term risks for sustainable urban and rural development.

Within this context, bioenergy emerges as a pivotal strategy for transforming organic waste streams into valuable resources that support both environmental protection and socio-economic stability. Through processes such as anaerobic digestion and other biotechnological approaches, organic residues—including food waste, agricultural by-products, and biodegradable industrial materials—can be converted into renewable forms of energy, namely electricity, heat, and cooling. Simultaneously, these processes generate biofertilizers rich in nutrients, which enhance soil fertility and reduce dependence on chemical fertilizers [3, 4].

The application of bioenergy solutions contributes to the implementation of circular economy principles, ensuring that materials are continuously reused rather than disposed of. Such systems mitigate ecological burdens by decreasing the volume of waste destined for landfills and by capturing methane emissions that would otherwise escape into the atmosphere. Furthermore, bioenergy integration into community infrastructure advances local energy independence, supports low-carbon transitions, and provides a foundation for green innovations. Consequently, bioenergy-based waste management is not merely a technological alternative but a systemic approach to addressing climate change, resource scarcity, and the urgent need for sustainable community development.

Materials and Methods

In order to conduct a comprehensive analysis and obtain a scientifically grounded evaluation of the efficiency of utilizing organic waste for bioenergy purposes, it is essential to first categorize the diverse range of waste streams that arise within contemporary socio-economic systems. Organic waste is not a homogeneous material; rather, it represents a broad spectrum of substrates that differ in their physical, chemical, and biological properties. These differences strongly influence the potential pathways for conversion, the efficiency of anaerobic digestion, and the environmental impacts of the chosen technologies. Therefore, the classification of waste into distinct categories is not merely a descriptive exercise but a methodological step that enables systematic assessment, comparability across studies, and the development of tailored technological solutions.

The selected groups of waste reflect the heterogeneity of organic matter generated across multiple sectors of human activity, including domestic households, urban food service facilities, agricultural production systems, industrial processing plants, and municipal green infrastructure. Food waste, for example, is typically characterized by high moisture content and rapid biodegradability, making it particularly suitable for direct anaerobic digestion with minimal pre-treatment. By contrast, agricultural residues such as straw or crop stalks contain high levels of lignocellulosic compounds, which require additional pre-processing (e.g., shredding, hydrothermal treatment, or co-digestion with more easily degradable feedstock) to optimize biogas yields. Industrial by-products, including wood chips or cardboard, are less biodegradable on their own but can significantly contribute to energy potential when co-processed with liquid effluents that balance their carbon-to-nitrogen ratios. Green and landscape waste, which includes seasonal biomass such as leaves, grass, and tree trimmings, occupies an intermediate position, often serving as a supplementary feedstock to stabilize digestion processes.

This multi-sectoral typology highlights the systemic nature of organic waste generation and its direct connection to both urban metabolism and rural production cycles. By recognizing waste not as an isolated environmental burden but as an integrated component of material and energy flows, researchers and practitioners can more effectively design strategies for sustainable resource recovery.

This section outlines a strategic framework for understanding the potential roles of various types of organic waste in bioenergy production, their technological conversion routes, and their contribution to the principles of a circular economy. (Table 1.)

1. Waste Categories and Bioenergy Potential

Waste Type	Sources	Utilization Potential
Food waste	Households, restaurants, food processing enterprises	Biogas, anaerobic digestion
Agricultural waste	Straw, crop residues, silage	Biogas, anaerobic digestion
Industrial waste	Wood residues, cardboard, by-products of the timber industry	Biogas, anaerobic digestion after moistening with effluents
Green/landscape	Grass, leaves, tree trimmings	Biogas, anaerobic digestion

Source: Author's development

The selected categories encompass both highly degradable waste streams (e.g., food and silage) and more resistant biomass fractions (e.g., lignocellulosic materials such as straw and wood). Their combined utilization within bioenergy systems enables an integrated approach that maximizes energy yields while ensuring ecological efficiency.

Waste Processing Technologies

The conversion of organic waste into renewable energy and agricultural by-products is supported by a set of established and emerging technologies:

- Combined Heat and Power (CHP) and Trigenation Systems – These systems allow the simultaneous production of electricity, heat, and cooling for local consumption, significantly enhancing overall energy efficiency compared to traditional single-output systems.
- Anaerobic Digestion (Biogas Plants) – This process facilitates the microbial decomposition of organic matter under oxygen-free conditions, yielding biogas (primarily methane and CO₂) and digestate, a nutrient-rich by-product. The integration of anaerobic digestion with CHP or trigenation technologies enables efficient conversion of biogas into multiple energy forms while closing nutrient cycles [5].
- Environmental Benefits – The environmental effect is achieved through the substitution of fossil fuels, reduction of methane and carbon dioxide emissions from uncontrolled decomposition, and production of organic fertilizers that can replace synthetic agrochemicals in organic farming systems.

The technological cycle of waste-to-energy transformation can be schematically represented as follows (Figure 1).

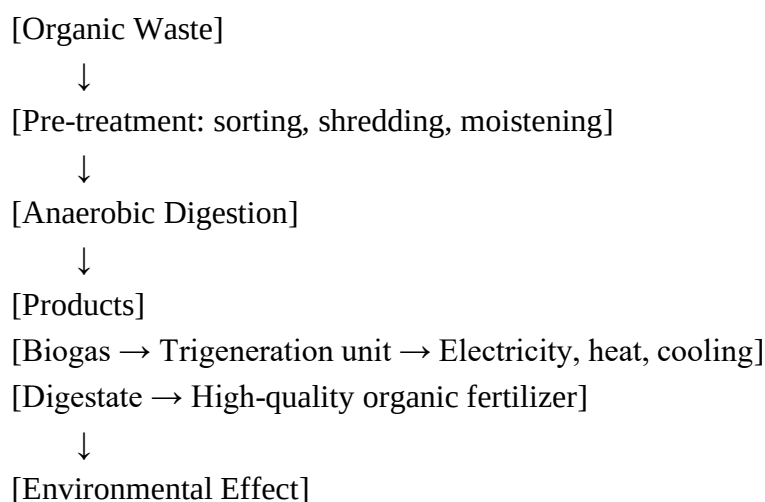


Figure 1. Schematic Representation of Waste-to-Bioenergy Pathway and Environmental Benefits

Source: Author's development

This waste management pathway demonstrates the “Waste → Anaerobic Digestion → Trigenation → Environmental Effect” chain, which serves as a conceptual framework for sustainable resource management in local communities.

Environmental Rationale

Environmentally sound management of organic feedstock ensures multiple ecological and socio-economic benefits. The process significantly reduces methane

emissions, which possess a global warming potential approximately 28 times higher than that of CO₂. By diverting waste from landfills, it alleviates pressure on municipal waste systems, prolongs landfill lifespan, and reduces the risk of leachate contamination. Moreover, the use of digestate as a fertilizer enhances soil organic content, improves water retention, and promotes biodiversity, thereby reinforcing the principles of sustainable agriculture and circular economy.

Energy Potential Assessment

To evaluate the potential net energy that can be recovered from organic waste, a quantitative model is employed. The net energy (E_{net}) is calculated according to Formula (1):

$$E_{net} = \sum_{i=1}^n W_i CV_i \eta_{\text{biogas}} (1 - MC_i) \quad (1)$$

Where:

E_{net} - Net recoverable energy from waste (kWh);

i - Waste type (food, agricultural, industrial, green);

W_i - Mass of waste type i (tons);

CV_i - Calorific value of waste type i (kWh/t);

η_{biogas} - Conversion efficiency of biogas into electricity, heat, or cooling;

MC_i - Moisture content of waste type i (fraction, 0–1)

Source: Author's development

This methodological approach allows for the comparative assessment of different waste categories in terms of their energy potential, taking into account the variability of moisture levels, calorific content, and technological conversion efficiency [6, 7, 8]. The model provides a robust framework for optimizing feedstock selection and designing community-based bioenergy plants that align with sustainable development objectives.

Practical Recommendations for Communities

The successful implementation of bioenergy initiatives at the community level requires not only technological innovation but also a comprehensive approach that integrates infrastructure development, resource optimization, and active public engagement. Based on current research and applied practices, several practical recommendations can be proposed for municipalities, agricultural enterprises, and local communities that aim to adopt bioenergy as part of their sustainable development strategies.

- Deployment of Local Biogas Modules

- Small- and medium-scale biogas plants represent a viable and adaptable solution for residential neighborhoods, agricultural enterprises, and municipal facilities. These modular systems are particularly advantageous because they can be installed directly at the site of waste generation, thereby reducing the costs and environmental impacts associated with waste transportation. Moreover, decentralized biogas units enhance local energy independence by producing renewable energy close to the point of consumption, supporting resilience in times of energy insecurity or supply disruption.
- Moistening of Dry Waste Streams
 - One of the challenges of bioenergy production, especially from agricultural residues or industrial by-products, is their low moisture content. In order to optimize the anaerobic digestion process, it is recommended to use treated wastewater from municipal treatment plants to adjust the water balance of the feedstock. This approach simultaneously improves the biodegradability of dry waste fractions and contributes to the partial purification and reuse of wastewater, thus advancing the principles of integrated resource management and circular economy.
- Integration with Trigeneration Systems
 - The co-utilization of biogas within combined heat, power, and cooling systems (CHP/trigeneration) significantly enhances the overall energy efficiency of bioenergy projects. Communities can integrate biogas-based trigeneration units into public infrastructure such as schools, hospitals, administrative buildings, and cultural centers. By providing electricity, heating, and cooling from a single renewable source, such systems reduce dependence on fossil fuels, stabilize local energy costs, and contribute to climate change mitigation by lowering greenhouse gas emissions.
- Production of Organic Fertilizers
 - The digestate generated as a by-product of anaerobic digestion is a nutrient-rich material that can be applied in organic farming, soil restoration, and urban landscaping. When properly processed, digestate improves soil structure, enhances microbial activity, and replenishes essential nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium. Communities can utilize this resource both in agricultural areas and for the greening of public spaces, parks, and degraded lands, thereby linking bioenergy projects to broader environmental and social benefits.
- Sorting and Pre-Treatment of Waste
 - Effective sorting and mechanical or biological pre-treatment of organic waste prior to digestion significantly improve the efficiency and reliability of the process. By removing contaminants such as plastics, metals, or hazardous

substances, the risk of system malfunction is minimized, and the quality of the final products—biogas and digestate—is enhanced. Establishing waste separation systems at the household and municipal levels is therefore a critical prerequisite for the success of bioenergy initiatives.

- Educational and Communication Measures

- Technical solutions alone cannot ensure the sustainability of community-based bioenergy projects. It is equally important to engage residents through continuous educational and communication efforts. Training programs, public campaigns, and workshops should be organized to raise awareness about the benefits of bioenergy, the importance of waste sorting, and the broader role of renewable energy in sustainable development. Community participation not only increases the efficiency of waste collection and processing but also fosters social acceptance and long-term support for bioenergy infrastructure.

Taken together, these recommendations demonstrate that the adoption of bioenergy in communities is not solely a matter of introducing new technologies but rather a holistic process that combines technical, environmental, economic, and social dimensions. By implementing localized and integrated strategies, municipalities can reduce ecological pressure, promote renewable energy use, and enhance the resilience of their populations in the transition toward a low-carbon future.

Justification:

The methodological framework for assessing the energy potential of organic waste is grounded in several interrelated principles that ensure scientific accuracy, comparability, and practical applicability of the results. A rigorous justification of the variables employed in the calculation model is essential for establishing both the reliability of energy forecasts and the validity of subsequent policy or investment decisions. The following considerations constitute the foundation of the analytical approach:

- Summation Across Waste Categories

- The aggregation of data across multiple types of organic waste is critical because different waste streams possess distinct physical and chemical characteristics. By summing contributions from food residues, agricultural by-products, industrial biomass, and green waste, the model captures the heterogeneity of feedstock availability within a given community or region. This approach ensures that the calculated energy potential reflects the composite reality of waste generation, rather than focusing exclusively on a single substrate. In this way, the methodology aligns with systems thinking and circular economy principles, recognizing that the interaction among

diverse waste categories often enhances overall efficiency through co-digestion processes.

- Mass of Waste as a Determinant of Energy Potential
 - The quantitative availability of organic waste (measured in tons or kilograms) directly influences the scale of energy production. Even when a waste category exhibits relatively low calorific value, a sufficiently large volume may render it an important contributor to the bioenergy balance. Conversely, high-energy-density residues may have limited impact if their mass is negligible in the local context. For this reason, accurate data collection on waste generation volumes—at the household, municipal, and industrial levels—is indispensable for realistic energy planning and capacity design of biogas plants.
- Calorific Value and Efficiency Coefficients
 - The intrinsic energy potential of waste materials—quantified through their calorific value—serves as a fundamental indicator of their suitability for energy recovery. When coupled with the technological efficiency of biogas conversion, it determines the net energy yield achievable within a given system. These parameters are typically established on the basis of internationally recognized technical standards, empirical laboratory measurements, and peer-reviewed research data. The associated efficiency coefficients reflect the proportion of chemical energy in the substrate that can be effectively captured and converted into usable electricity, heat, or cooling. In this way, the assessment of calorific value and conversion efficiency together provides a critical bridge between theoretical energy potential and practical, measurable energy outcomes.
- Correction for Moisture Content
 - Moisture content represents a critical correction factor because a portion of the total mass of organic waste consists of water, which does not contribute to energy generation. High water content reduces the effective calorific value of the substrate, diminishing the energy that can be extracted during anaerobic digestion or combustion. By incorporating moisture adjustment into the calculation, the model distinguishes between productive biomass and inert mass, yielding a more accurate representation of the net energy potential. Moreover, this correction helps identify feedstock categories that may require pre-treatment, such as dewatering or co-mixing with drier materials, to enhance process stability and energy recovery.

Results

The evaluation of bioenergy potential derived from different categories of organic waste provides a quantifiable basis for assessing both the environmental and

economic advantages of implementing decentralized bioenergy systems. The following results are derived from existing studies, technical guidelines, and practical implementations in comparable regional contexts. They highlight not only the magnitude of energy generation but also the broader environmental and socio-economic benefits associated with the circular use of waste resources.

- Potential energy yield from one metric ton of organic waste:
 - Food waste: approximately 100–150 kWh of electricity and 300–400 kWh of thermal energy. This relatively moderate output reflects the high moisture content and variable calorific value of food residues. Nevertheless, given the constant and large volumes generated in urban and peri-urban communities, food waste represents a stable and predictable energy source when processed through anaerobic digestion or co-digestion systems.
 - Straw and agricultural residues: approximately 150–200 kWh of electricity and 400–500 kWh of thermal energy. Agricultural by-products demonstrate higher energy efficiency due to their more stable dry matter content and calorific value. Their utilization in biogas or biomass systems also contributes to reducing open-field burning, which is a major source of greenhouse gas emissions and local air pollutants.
 - Wood-based residues: approximately 200–250 kWh of electricity and 500–600 kWh of thermal energy. Woody biomass exhibits the highest energy potential per ton owing to its elevated calorific value and lower moisture content. Although it requires specific preprocessing steps such as chipping or pelletization, its integration into combined heat and power (CHP) systems ensures stable and high-efficiency energy conversion.
- Reduction of methane and CO₂ emissions compared to conventional landfilling:
 - Scientific assessments indicate that the implementation of waste-to-energy systems can achieve a reduction in methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) emissions of up to 60–70%, relative to traditional landfilling practices [1]. This is particularly significant given the much higher global warming potential (GWP) of methane compared to carbon dioxide. By diverting biodegradable waste from uncontrolled anaerobic decomposition in landfills, bioenergy systems effectively contribute to national commitments under international climate agreements, including the Paris Agreement.
- Economic impact and resource efficiency:
 - The economic advantages of community-scale bioenergy systems extend beyond the substitution of fossil fuels. The deployment of waste-to-energy technologies enables municipalities to significantly reduce expenditure on waste disposal, particularly in regions where landfill taxes, waste transport, and landfill maintenance represent a substantial financial burden.

Additionally, bioenergy systems create opportunities for revenue generation through the sale of renewable electricity, the supply of heat to local grids or district heating systems, and the marketing of digestate as an organic fertilizer suitable for sustainable agriculture, landscaping, and soil restoration projects.

- Broader systemic benefits:

- Beyond direct energy and cost considerations, bioenergy deployment fosters energy self-sufficiency at the local level, enhancing resilience in communities facing energy insecurity or disruptions in centralized supply systems. It also supports job creation in the installation, operation, and maintenance of bioenergy facilities, thereby stimulating regional economic development. Furthermore, by aligning with circular economy principles, such systems strengthen environmental stewardship, reduce dependency on non-renewable resources, and promote social acceptance of sustainable practices.

Taken together, these results underscore the dual environmental and economic rationale for advancing community-scale bioenergy systems. They also highlight the importance of integrating technical feasibility studies with policy measures that incentivize sustainable waste-to-energy transitions.

Discussion

The use of biogas as a renewable energy source has proven highly efficient, especially for wet organic wastes such as food residues, fruit and vegetable by-products, and certain agricultural residues (silage, manure). These substrates are favorable for anaerobic digestion due to high moisture content, rapid biodegradability, and relative homogeneity, enhancing microbial activity and stabilizing biogas production. Anaerobic digestion involves hydrolytic, acidogenic, acetogenic, and methanogenic microorganisms, generating methane and CO₂.

Optimizing feedstock composition is critical for maximizing methane yield and system stability. Key parameters include carbon-to-nitrogen ratio (C/N), pH, temperature, and hydraulic retention time. Optimal conditions (C/N 20–30:1, pH 6.8–7.4, mesophilic temperatures 35–40°C) support methanogenesis, while deviations can reduce gas output.

Practical studies indicate variation in methane potential: household and restaurant food waste yields ~100–150 kWh electricity per ton; silage and manure can reach up to 200 kWh per ton. Strategic blending of different wet wastes stabilizes digestion, increases methane production by 20–30 %, and produces high-quality digestate suitable for organic agriculture.

Dry biomass (straw, wood chips, industrial residues) requires moisture adjustment to maintain microbial activity. Controlled addition of treated wastewater or process effluents (70–85 % moisture) improves hydrolysis and methane

generation, transforming low-value residues into renewable energy while partially treating wastewater.

Local bioenergy modules enable decentralized production of electricity, heat, and cooling, reducing transport costs and energy losses. Small units (50–200 kW) suit residential clusters and schools; medium units (200–500 kW) serve agricultural or municipal facilities. Integration with trigeneration systems increases overall efficiency to ~80 %, compared to 35–45 % for conventional generation.

Pre-treatment—sorting, shredding, homogenization—ensures stable anaerobic digestion and high-quality digestate. Removing contaminants, reducing particle size, and homogenizing substrate improve microbial activity, biogas yield, and nutrient consistency in digestate.

Decentralized systems offer economic and social benefits: reduced waste management costs, revenue from electricity, heat, and digestate, job creation, and increased community energy independence. Educational programs enhance local engagement, sustainable behavior, and knowledge of circular economy principles.

International experience confirms effectiveness in diverse contexts (Germany, Denmark, India, Kenya, South Africa). Integration of trigeneration modules with smart grids optimizes energy distribution, enhances efficiency and flexibility, and supports reliable, sustainable, and adaptive community energy systems.

In summary, strategic utilization of organic waste through anaerobic digestion, local bioenergy modules, and smart-grid integration enables renewable energy production, organic fertilizers, and socio-economic benefits, promoting scalable, sustainable, and resilient community development.

Conclusions

Bioenergy in waste management serves as an effective instrument for implementing circular economy principles at the community level. The integration of anaerobic digestion with trigeneration enables simultaneous production of organic fertilizers and biogas, which can be converted into electricity, heat, and cooling. This dual functionality optimizes resource utilization and transforms waste into a valuable source of energy and nutrients, fostering sustainable local development.

Environmentally, controlled anaerobic digestion reduces methane and carbon dioxide emissions, mitigates climate impacts, and minimizes landfill use and pollution risks. Economically, decentralized bioenergy systems lower waste management costs, generate green jobs, and promote nutrient recycling through digestate use as organic fertilizer, supporting sustainable agriculture.

Socially, modular bioenergy and trigeneration units enhance community energy independence and resilience while strengthening public awareness of sustainable practices.

Looking ahead, integrating modular bioenergy solutions with urban and agricultural systems presents a holistic path toward environmental protection, economic stability, and social inclusion. In this context, bioenergy emerges as a scalable and replicable model for advancing circular economy objectives and building resilient, self-sufficient communities.

References

1. Honcharuk, I. (2023). Bioenergy Recycling of Household Solid Waste as a Direction for Ensuring Sustainable Communities. EPJ.
2. UABIO. (2019). Prospects of Energy Utilisation of Municipal Solid Waste in Ukraine. Bioenergy Association of Ukraine.
3. Kostenko, D. M. (2021). Justification of the Economic Feasibility of Solid Biofuel Production from Energy Crops in Ukraine. – Kharkiv: Institute for Regional Economic Development, NAS of Ukraine.
4. Pimenov, S. (2025). Transforming Agriculture into Energy: Unlocking Ukraine's Bioenergy Potential. MDPI.
5. Weiland, P. (2010). Biogas Production: Current State and Perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(4), 849–860.
6. DBN V.2.5-23:2018. Thermal Networks. Basic Provisions. – Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2018.
7. DSTU EN 15359:2011. Solid Recovered Fuel. Specification and Classes. – Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2011.
8. López, J., et al. (2020). Energy Potential from Organic Waste via Anaerobic Digestion and Gasification. Renewable Energy, 147, 1980–1992.

[ES_7]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Bioenergía y gestión de residuos

Resumen

En las comunidades contemporáneas, la gestión de residuos orgánicos es un pilar del desarrollo sostenible y de la gobernanza ambiental. Manejar restos de alimentos, subproductos agrícolas y residuos biodegradables no solo atiende preocupaciones ecológicas, sino que fortalece la resiliencia de las economías locales. La digestión anaeróbica se presenta como una solución tecnológica prometedora, transformando residuos orgánicos en energía renovable —electricidad, calor y refrigeración— y fertilizantes orgánicos de calidad que pueden reintegrarse en los sistemas agrícolas, cerrando ciclos de nutrientes y mejorando la fertilidad del suelo.

La función dual de la digestión anaeróbica—recuperación de energía y reciclaje de nutrientes—la posiciona en la intersección de la protección ambiental, la transición energética y las prácticas de economía circular. Al reducir las emisiones de metano derivadas de la descomposición no controlada, disminuir la dependencia de combustibles fósiles y ofrecer alternativas sostenibles a los fertilizantes sintéticos, esta tecnología contribuye a la mitigación del cambio climático y promueve una trayectoria de desarrollo bajo en carbono. Además, la integración de sistemas de bioenergía en la infraestructura municipal fomenta la autosuficiencia energética, mejora la eficiencia en la gestión de residuos y genera oportunidades para la innovación y la creación de empleos verdes. Por lo tanto, la bioenergía a partir de residuos orgánicos no solo representa un avance tecnológico, sino también una vía estratégica para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible globales y fortalecer la resiliencia comunitaria frente a los desafíos ambientales.

Palabras clave: bioenergía, digestión anaeróbica, gestión de residuos orgánicos, energía renovable, economía circular, desarrollo sostenible, reciclaje de nutrientes, transición baja en carbono

Introducción

El rápido incremento en la generación de residuos domésticos, industriales y agrícolas se ha convertido en uno de los desafíos ambientales más importantes del siglo XXI. Esta tendencia ejerce una presión creciente sobre los vertederos, los ecosistemas naturales y la salud pública, al tiempo que contribuye a un aumento significativo de las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente metano y dióxido de carbono, acelerando el cambio climático [1, 2]. La disposición no controlada de residuos no solo degrada la calidad del suelo y del agua, sino que también intensifica la demanda de nuevos recursos territoriales, generando riesgos a largo plazo para el desarrollo urbano y rural sostenible.

En este contexto, la bioenergía surge como una estrategia clave para transformar los flujos de residuos orgánicos en recursos valiosos que respaldan tanto la protección ambiental como la estabilidad socioeconómica. A través de procesos como la digestión anaeróbica y otras técnicas biotecnológicas, los residuos orgánicos—incluyendo desperdicios alimentarios, subproductos agrícolas y materiales industriales biodegradables—pueden convertirse en formas de energía renovable, específicamente electricidad, calor y refrigeración. Simultáneamente, estos procesos generan biofertilizantes ricos en nutrientes que mejoran la fertilidad del suelo y reducen la dependencia de fertilizantes químicos [3, 4].

La aplicación de soluciones de bioenergía contribuye a la implementación de los principios de la economía circular, asegurando que los materiales se reutilicen continuamente en lugar de desecharse. Tales sistemas mitigan la carga ecológica al disminuir el volumen de residuos destinados a vertederos y al capturar las emisiones de metano que, de otro modo, escaparían a la atmósfera. Además, la integración de la bioenergía en la infraestructura comunitaria impulsa la independencia energética local, respalda la transición hacia bajas emisiones de carbono y sienta las bases para la innovación verde. En consecuencia, la gestión de residuos basada en bioenergía no constituye simplemente una alternativa tecnológica, sino un enfoque sistémico para enfrentar el cambio climático, la escasez de recursos y la necesidad urgente de un desarrollo comunitario sostenible.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo un análisis integral y obtener una evaluación científicamente fundamentada sobre la eficiencia del uso de residuos orgánicos con fines de bioenergía, es esencial, en primer lugar, categorizar la amplia diversidad de flujos de residuos que surgen en los sistemas socioeconómicos contemporáneos. Los residuos orgánicos no constituyen un material homogéneo; por el contrario, representan un amplio espectro de sustratos que difieren en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Estas diferencias influyen de manera significativa en las rutas de conversión potenciales, la eficiencia de la digestión anaeróbica y los impactos ambientales de las tecnologías empleadas. Por lo tanto, la clasificación de los

residuos en categorías distintas no es meramente un ejercicio descriptivo, sino un paso metodológico que permite la evaluación sistemática, la comparabilidad entre estudios y el desarrollo de soluciones tecnológicas adaptadas.

Los grupos de residuos seleccionados reflejan la heterogeneidad de la materia orgánica generada en múltiples sectores de la actividad humana, incluidos los hogares, los servicios de alimentación urbana, los sistemas de producción agrícola, las plantas de procesamiento industrial y la infraestructura verde municipal. Por ejemplo, los residuos alimentarios se caracterizan típicamente por un alto contenido de humedad y rápida biodegradabilidad, lo que los hace particularmente adecuados para la digestión anaeróbica directa con un pretratamiento mínimo. En contraste, los residuos agrícolas, como la paja o los tallos de cultivos, contienen altos niveles de compuestos lignocelulósicos que requieren un preprocesamiento adicional (p. ej., trituración, tratamiento hidrotérmico o co-digestión con sustratos más fácilmente degradables) para optimizar la producción de biogás. Los subproductos industriales, incluyendo virutas de madera o cartón, son menos biodegradables por sí mismos, pero pueden contribuir significativamente al potencial energético cuando se co-procesan con efluentes líquidos que equilibran sus relaciones carbono-nitrógeno. Los residuos verdes y paisajísticos, que incluyen biomasa estacional como hojas, césped y podas de árboles, ocupan una posición intermedia y a menudo sirven como sustrato complementario para estabilizar los procesos de digestión.

Esta tipología multisectorial resalta la naturaleza sistémica de la generación de residuos orgánicos y su vínculo con el metabolismo urbano y los ciclos de producción rural. Al reconocer los residuos no como una carga aislada, sino como parte de los flujos de materia y energía, investigadores y profesionales pueden diseñar estrategias más efectivas para la recuperación sostenible de recursos.

Esta sección ofrece un marco estratégico para entender los roles de distintos residuos orgánicos en la producción de bioenergía, sus rutas de conversión tecnológica y su aporte a la economía circular (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías de Residuos y Potencial de Bioenergía

Tipo de Residuo	Fuentes	Potencial de Utilización
Residuos alimentarios	Hogares, restaurantes, empresas de procesamiento de alimentos	Biogás, digestión anaeróbica
Residuos agrícolas	Paja, restos de cultivos, ensilaje	Biogás, digestión anaeróbica
Residuos industriales	Residuos de madera, cartón, subproductos de la industria maderera	Biogás, digestión anaeróbica tras humedecimiento con efluentes
Residuos verdes/paisajísticos	Césped, hojas, podas de árboles	Biogás, digestión anaeróbica

Fuente: Elaboración del autor

Las categorías seleccionadas abarcan tanto flujos de residuos altamente degradables (p. ej., alimentos y ensilaje) como fracciones de biomasa más resistentes

(p. ej., materiales lignocelulósicos como paja y madera). Su utilización combinada dentro de los sistemas de bioenergía permite un enfoque integrado que maximiza la producción de energía, garantizando al mismo tiempo la eficiencia ecológica.

Tecnologías de Procesamiento de Residuos

La conversión de residuos orgánicos en energía renovable y subproductos agrícolas se sustenta en un conjunto de tecnologías consolidadas y emergentes:

- Sistemas de Cogeneración y Trigeneración (CHP y Trigeneración) – Estos sistemas permiten la producción simultánea de electricidad, calor y refrigeración para consumo local, mejorando significativamente la eficiencia energética global en comparación con los sistemas tradicionales de salida única.
- Digestión Anaeróbica (Plantas de Biogás) – Este proceso facilita la descomposición microbiana de la materia orgánica en condiciones libres de oxígeno, produciendo biogás (principalmente metano y CO₂) y digestato, un subproducto rico en nutrientes. La integración de la digestión anaeróbica con tecnologías de cogeneración o trigeneración permite la conversión eficiente del biogás en múltiples formas de energía, al tiempo que cierra los ciclos de nutrientes [5].
- Beneficios Ambientales – El efecto ambiental se logra mediante la sustitución de combustibles fósiles, la reducción de emisiones de metano y dióxido de carbono provenientes de la descomposición no controlada, y la producción de fertilizantes orgánicos que pueden reemplazar agroquímicos sintéticos en sistemas de agricultura orgánica.

El ciclo tecnológico de transformación de residuos en energía puede representarse esquemáticamente de la siguiente manera (Figura 1):

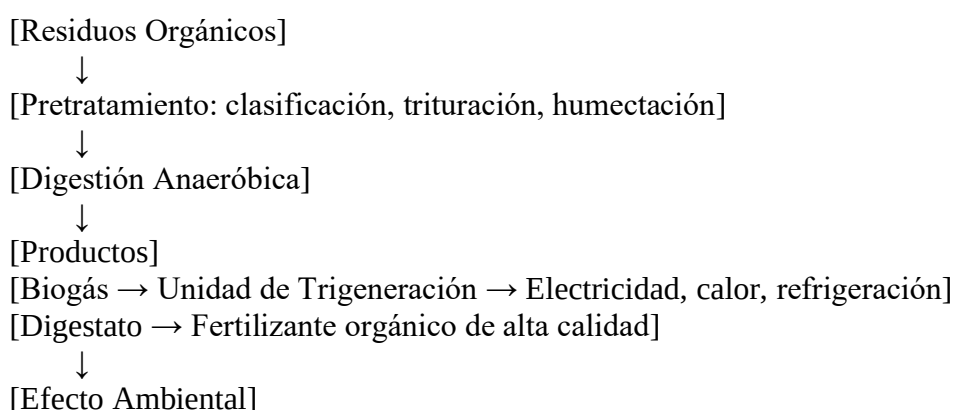


Figura 1. Representación esquemática de la ruta de residuos a bioenergía y beneficios ambientales
Fuente: Elaboración del autor

Esta vía de gestión de residuos ilustra la cadena conceptual “Residuos → Digestión Anaeróbica → Trigeneración → Efecto Ambiental”, que sirve como marco para la gestión sostenible de recursos en comunidades locales.

Fundamento Ambiental

La gestión ambientalmente responsable de la materia orgánica garantiza múltiples beneficios ecológicos y socioeconómicos. El proceso reduce significativamente las emisiones de metano, cuya capacidad de calentamiento global es aproximadamente 28 veces superior a la del CO₂. Al desviar residuos de los vertederos, se alivia la presión sobre los sistemas municipales de gestión de residuos, se prolonga la vida útil de los vertederos y se disminuye el riesgo de contaminación por lixiviados. Además, el uso del digestato como fertilizante incrementa el contenido orgánico del suelo, mejora la retención de agua y promueve la biodiversidad, reforzando así los principios de agricultura sostenible y economía circular.

Evaluación del Potencial Energético

Para evaluar la energía neta potencial que puede recuperarse de los residuos orgánicos, se emplea un modelo cuantitativo. La energía neta (E_{net}) se calcula según la Fórmula (1):

$$E_{net} = \sum_{i=1}^n W_i CV_i \eta_{biogas} (1 - MC_i) \quad (1)$$

Donde:

E_{net} - Energía neta recuperable a partir de residuos (kWh);

i - Tipo de residuo (alimentario, agrícola, industrial, verde);

W_i - Masa del tipo de residuo i (toneladas);

CV_i - Valor calorífico del tipo de residuo i (kWh/t);

η_{biogas} - Eficiencia de conversión del biogás en electricidad, calor o refrigeración;

MC_i - Contenido de humedad del residuo tipo i (fracción, 0–1)

Fuente: Elaboración del autor

Este enfoque metodológico permite la evaluación comparativa de las diferentes categorías de residuos en términos de su potencial energético, considerando la variabilidad de los niveles de humedad, el contenido calorífico y la eficiencia de conversión tecnológica [6, 7, 8]. El modelo proporciona un marco sólido para optimizar la selección de sustratos y diseñar plantas de bioenergía comunitarias que se alineen con los objetivos de desarrollo sostenible.

Recomendaciones Prácticas para Comunidades

La implementación exitosa de iniciativas de bioenergía a nivel comunitario requiere no solo innovación tecnológica, sino también un enfoque integral que integre el desarrollo de infraestructura, la optimización de recursos y la participación activa de la población. Basándose en investigaciones recientes y prácticas aplicadas, se pueden proponer varias recomendaciones prácticas para municipios, empresas

agrícolas y comunidades locales que buscan adoptar la bioenergía como parte de sus estrategias de desarrollo sostenible:

- Despliegue de Módulos Locales de Biogás
 - Plantas de biogás de pequeña y mediana escala representan una solución viable y adaptable para vecindarios residenciales, empresas agrícolas e instalaciones municipales. Estos sistemas modulares son particularmente ventajosos porque pueden instalarse directamente en el lugar de generación de residuos, reduciendo los costos e impactos ambientales asociados con el transporte de residuos. Además, las unidades descentralizadas de biogás aumentan la independencia energética local al producir energía renovable cerca del punto de consumo, apoyando la resiliencia ante inseguridad energética o interrupciones en el suministro.
- Humectación de Flujos de Residuos Secos
 - Uno de los desafíos de la producción de bioenergía, especialmente a partir de residuos agrícolas o subproductos industriales, es su bajo contenido de humedad. Para optimizar el proceso de digestión anaeróbica, se recomienda utilizar aguas residuales tratadas de plantas municipales para ajustar el balance hídrico del sustrato. Este enfoque mejora simultáneamente la biodegradabilidad de las fracciones secas de residuos y contribuye a la purificación parcial y reutilización de aguas residuales, promoviendo los principios de gestión integrada de recursos y economía circular.
- Integración con Sistemas de Trigeneración
 - La co-utilización de biogás en sistemas combinados de calor, electricidad y refrigeración (CHP/trigeneración) mejora significativamente la eficiencia energética global de los proyectos de bioenergía. Las comunidades pueden integrar unidades de trigeneración basadas en biogás en infraestructuras públicas como escuelas, hospitales, edificios administrativos y centros culturales. Al proporcionar electricidad, calefacción y refrigeración desde una única fuente renovable, estos sistemas reducen la dependencia de combustibles fósiles, estabilizan los costos energéticos locales y contribuyen a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Producción de Fertilizantes Orgánicos
 - El digestato generado como subproducto de la digestión anaeróbica es un material rico en nutrientes que puede aplicarse en agricultura orgánica, restauración de suelos y paisajismo urbano. Cuando se procesa adecuadamente, mejora la estructura del suelo, incrementa la actividad microbiana y repone nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Las comunidades pueden utilizar este recurso tanto en áreas agrícolas como

para la reforestación y embellecimiento de espacios públicos, parques y terrenos degradados, vinculando así los proyectos de bioenergía con beneficios ambientales y sociales más amplios.

- Clasificación y Pretratamiento de Residuos

- La clasificación efectiva y el pretratamiento mecánico o biológico de los residuos orgánicos antes de la digestión mejoran significativamente la eficiencia y fiabilidad del proceso. Al eliminar contaminantes como plásticos, metales o sustancias peligrosas, se minimiza el riesgo de fallos en el sistema y se mejora la calidad de los productos finales—biogás y digestato. Por lo tanto, establecer sistemas de separación de residuos a nivel doméstico y municipal es un requisito crítico para el éxito de las iniciativas de bioenergía.

- Medidas Educativas y de Comunicación

- Las soluciones técnicas por sí solas no garantizan la sostenibilidad de los proyectos comunitarios de bioenergía. También es importante involucrar a los residentes mediante esfuerzos de educación y comunicación. Se deben organizar programas de formación, campañas públicas y talleres para concienciar sobre los beneficios de la bioenergía, la separación de residuos y el papel de la energía renovable en el desarrollo sostenible. La participación comunitaria incrementa la eficiencia de la recolección y procesamiento de residuos y fomenta la aceptación social y el apoyo a largo plazo para la infraestructura de bioenergía.

En conjunto, estas recomendaciones muestran que la adopción de bioenergía en comunidades no se limita a la introducción de nuevas tecnologías, sino que es un proceso integral que combina dimensiones técnicas, ambientales, económicas y sociales. Al aplicar estrategias localizadas e integradas, los municipios pueden reducir la presión ecológica, fomentar el uso de energías renovables y aumentar la resiliencia de sus poblaciones en la transición hacia un futuro bajo en carbono.

Justificación

El marco metodológico para la evaluación del potencial energético de los residuos orgánicos se fundamenta en varios principios interrelacionados que aseguran la precisión científica, la comparabilidad y la aplicabilidad práctica de los resultados. Una justificación rigurosa de las variables empleadas en el modelo de cálculo es esencial para establecer tanto la fiabilidad de los pronósticos energéticos como la validez de decisiones posteriores de política o inversión. Las siguientes consideraciones constituyen la base del enfoque analítico:

- Suma a través de categorías de residuos

- La agregación de datos de múltiples tipos de residuos orgánicos es crítica, dado que los distintos flujos poseen características físicas y químicas diferenciadas. Al sumar las contribuciones de restos alimentarios, subproductos agrícolas,

biomasa industrial y residuos verdes, el modelo captura la heterogeneidad de la disponibilidad de sustratos en una comunidad o región determinada. Este enfoque garantiza que el potencial energético calculado refleje la realidad de la generación de residuos, en lugar de centrarse en un único sustrato. Así, la metodología se alinea con el pensamiento sistémico y los principios de la economía circular, reconociendo que la interacción entre diversas categorías de residuos suele mejorar la eficiencia mediante procesos de co-digestión.

- Masa de residuos como determinante del potencial energético
 - La disponibilidad cuantitativa de residuos orgánicos (medida en toneladas o kilogramos) influye directamente en la escala de producción de energía. Incluso cuando una categoría de residuos presenta un valor calorífico relativamente bajo, un volumen suficientemente grande puede convertirla en un contribuyente relevante al balance de bioenergía. Por el contrario, residuos de alta densidad energética pueden tener un impacto limitado si su masa es despreciable en el contexto local. Por ello, la recolección precisa de datos sobre volúmenes de generación de residuos—a nivel doméstico, municipal e industrial—es indispensable para la planificación energética realista y el dimensionamiento de plantas de biogás.
- Valor calorífico y coeficientes de eficiencia
 - El potencial energético intrínseco de los materiales residuales, cuantificado mediante su valor calorífico, constituye un indicador fundamental de su idoneidad para la recuperación de energía. Cuando se combina con la eficiencia tecnológica de conversión del biogás, determina el rendimiento neto de energía alcanzable en un sistema determinado. Estos parámetros se establecen normalmente sobre la base de normas técnicas reconocidas internacionalmente, mediciones empíricas de laboratorio y datos de investigación revisados por pares. Los coeficientes de eficiencia asociados reflejan la proporción de energía química en el sustrato que puede capturarse y convertirse efectivamente en electricidad, calor o refrigeración utilizables. De este modo, la evaluación conjunta del valor calorífico y de la eficiencia de conversión proporciona un puente crítico entre el potencial teórico de energía y los resultados energéticos prácticos y medibles.
- Corrección por contenido de humedad
 - El contenido de humedad es crítico, ya que parte de la masa de residuos orgánicos es agua, que no genera energía. Un alto contenido de agua reduce el valor calorífico y la energía extraíble durante la digestión anaeróbica o combustión. Ajustar por humedad permite diferenciar entre biomasa productiva e inerte, ofreciendo una estimación más precisa del potencial energético. Además, esta corrección ayuda a identificar sustratos que podrían

requerir pretratamiento, como deshidratación o mezcla con materiales más secos, para mejorar la recuperación de energía.

Resultados

La evaluación del potencial de bioenergía de distintas categorías de residuos orgánicos ofrece una base para valorar las ventajas ambientales y económicas de los sistemas descentralizados de bioenergía. Los resultados se derivan de estudios, guías técnicas y experiencias prácticas en contextos regionales comparables, destacando no solo la generación energética, sino también los beneficios ambientales y socioeconómicos del uso circular de los residuos.

- Rendimiento energético potencial por tonelada métrica de residuos orgánicos:
 - Residuos alimentarios: unos 100–150 kWh de electricidad y 300–400 kWh de energía térmica. Este rendimiento moderado se debe al alto contenido de humedad y a la variabilidad del valor calorífico de los restos alimentarios. No obstante, dado el volumen constante generado en comunidades urbanas y periurbanas, los residuos alimentarios representan una fuente de energía estable y predecible mediante digestión anaeróbica o sistemas de co-digestión.
 - Paja y residuos agrícolas: aproximadamente 126–171 kWh de electricidad y 343–428 kWh de energía térmica. Los subproductos agrícolas muestran mayor eficiencia energética por su contenido de materia seca más estable y su valor calorífico constante. Su uso en sistemas de biogás o biomasa contribuye a reducir la quema a cielo abierto, fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales.
 - Residuos de madera: aproximadamente 200–250 kWh de electricidad y 500–600 kWh de energía térmica. La biomasa leñosa presenta el mayor potencial energético por tonelada debido a su elevado valor calorífico y menor contenido de humedad. Aunque requiere pasos de pretratamiento específicos, como astillado o pelletización, su integración en sistemas de cogeneración (CHP) asegura una conversión energética estable y eficiente.
- Reducción de emisiones de metano y CO₂ frente al vertido convencional:
 - Evaluaciones científicas indican que la implementación de sistemas de residuos a energía puede reducir emisiones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) hasta un 55–65 % respecto a las prácticas tradicionales de vertido [1]. Esto es relevante considerando el mayor potencial de calentamiento global del metano frente al CO₂. Al desviar los residuos biodegradables de la descomposición anaeróbica no controlada, los sistemas de bioenergía apoyan eficazmente los compromisos nacionales bajo acuerdos internacionales de clima, incluido el Acuerdo de París.
- Impacto económico y eficiencia en el uso de recursos:

- Las ventajas económicas de los sistemas de bioenergía a escala comunitaria van más allá de la sustitución de combustibles fósiles. La implementación de tecnologías de residuos a energía permite a los municipios reducir significativamente los gastos en gestión de residuos, especialmente en regiones donde los impuestos sobre vertederos, transporte y mantenimiento representan una carga financiera considerable. Además, los sistemas de bioenergía generan oportunidades de ingresos mediante la venta de electricidad renovable, el suministro de calor a redes locales o sistemas de calefacción urbana, y la comercialización del digestato como fertilizante orgánico apto para agricultura sostenible, paisajismo y restauración de suelos.
- Beneficios sistémicos más amplios:
 - Más allá de las consideraciones directas de energía y costos, la implementación de bioenergía fomenta la autosuficiencia energética a nivel local, aumentando la resiliencia de las comunidades frente a la inseguridad energética o interrupciones en los sistemas de suministro centralizados. También apoya la creación de empleo en la instalación, operación y mantenimiento de instalaciones de bioenergía, estimulando el desarrollo económico regional. Además, al alinearse con los principios de economía circular, estos sistemas fortalecen la gestión ambiental, reducen la dependencia de recursos no renovables y promueven la aceptación social de prácticas sostenibles.

En conjunto, estos resultados subrayan la justificación ambiental y económica para avanzar en sistemas de bioenergía a escala comunitaria. Asimismo, destacan la importancia de integrar estudios de viabilidad técnica con medidas políticas que incentiven la transición sostenible de residuos a energía.

Discusión

El uso del biogás como fuente de energía renovable ha mostrado gran eficiencia, especialmente con residuos orgánicos húmedos como restos alimentarios, subproductos de frutas, verduras y ciertos desechos agrícolas (ensilaje, estiércol). Por su alta humedad, biodegradabilidad y homogeneidad, estos sustratos favorecen la digestión anaeróbica, potenciando la actividad microbiana y estabilizando la producción de biogás. En el proceso intervienen microorganismos hidrolíticos, acidogénicos, acetogénicos y metanogénicos, que generan metano y CO₂.

La optimización de la composición del sustrato es crítica para maximizar el rendimiento de metano y la estabilidad del sistema. Los parámetros clave incluyen la relación carbono-nitrógeno (C/N), pH, temperatura y tiempo de retención hidráulica. Condiciones óptimas (C/N 20–30:1, pH 6,8–7,4, temperaturas mesofílicas 35–40 °C) favorecen la metanogénesis, mientras que desviaciones pueden reducir la producción de gas.

Estudios prácticos indican variaciones en el potencial de metano: los residuos alimentarios domésticos y de restaurantes generan aproximadamente 100–150 kWh de electricidad por tonelada; el ensilaje y el estiércol pueden alcanzar hasta 200 kWh por tonelada. La mezcla estratégica de diferentes residuos húmedos estabiliza la digestión, incrementa la producción de metano en un 20–30 % y produce digestato de alta calidad, adecuado para la agricultura orgánica.

La biomasa seca (paja, virutas de madera, residuos industriales) requiere ajuste de humedad para mantener la actividad microbiana. La adición controlada de aguas residuales tratadas o efluentes de procesos (70–85 % de humedad) mejora la hidrólisis y la generación de metano, transformando residuos de bajo valor en energía renovable y, al mismo tiempo, tratando parcialmente las aguas residuales.

Los módulos locales de bioenergía permiten producir electricidad, calor y refrigeración de forma descentralizada, reduciendo costos de transporte y pérdidas energéticas. Unidades pequeñas (50–200 kW) son adecuadas para viviendas y escuelas, mientras que las medianas (200–500 kW) sirven a instalaciones agrícolas o municipales. La integración con sistemas de trigeneración eleva la eficiencia global hasta ~80 %, frente a 35–45 % de la generación convencional.

El pretratamiento—clasificación, trituración y homogenización—asegura una digestión anaeróbica estable y un digestato de alta calidad. La eliminación de contaminantes y la homogeneización del sustrato optimizan la actividad microbiana, el rendimiento de biogás y la uniformidad de nutrientes del digestato.

Los sistemas descentralizados aportan beneficios económicos y sociales: reducen los costos de gestión de residuos, generan ingresos por energía y digestato, crean empleo y fortalecen la independencia energética. Los programas educativos impulsan la participación local, fomentan conductas sostenibles y difunden los principios de economía circular.

La experiencia internacional confirma su efectividad en varios contextos (Alemania, Dinamarca, India, Kenia, Sudáfrica). La integración de módulos de trigeneración con redes inteligentes optimiza la distribución de energía, mejora eficiencia y flexibilidad, y respalda sistemas energéticos comunitarios sostenibles.

En resumen, la utilización estratégica de residuos orgánicos mediante digestión anaeróbica, módulos locales de bioenergía e integración con redes inteligentes permite generar energía renovable, fertilizantes orgánicos y beneficios socioeconómicos, promoviendo un desarrollo comunitario sostenible y resiliente.

Conclusiones

La bioenergía en la gestión de residuos es un instrumento eficaz para implementar los principios de economía circular a nivel comunitario. La digestión anaeróbica integrada con la trigeneración permite producir fertilizantes orgánicos y biogás, que se convierte en electricidad, calor y refrigeración. Esta doble

funcionalidad optimiza los recursos y transforma los residuos en una fuente valiosa de energía y nutrientes, fomentando el desarrollo local sostenible.

Desde el punto de vista ambiental, la digestión anaeróbica controlada reduce las emisiones de metano y dióxido de carbono, mitiga los impactos climáticos y minimiza el uso de vertederos y los riesgos de contaminación. Económicamente, los sistemas de bioenergía descentralizados disminuyen los costos de gestión de residuos, generan empleos verdes y promueven el reciclaje de nutrientes mediante el uso del digestato como fertilizante orgánico, apoyando la agricultura sostenible.

En el plano social, las unidades modulares de bioenergía y trigeneración aumentan la independencia energética y la resiliencia de la comunidad, al tiempo que fortalecen la conciencia pública sobre prácticas sostenibles.

De cara al futuro, la integración de soluciones modulares de bioenergía con sistemas urbanos y agrícolas presenta un camino integral hacia la protección ambiental, la estabilidad económica y la inclusión social. En este contexto, la bioenergía se perfila como un modelo escalable y replicable para avanzar en los objetivos de economía circular y construir comunidades resilientes y autosuficientes.

Referencias

1. Honcharuk, I. (2023). Reciclaje de bioenergía de residuos sólidos domésticos como una vía para garantizar comunidades sostenibles. EPJ.
2. UABIO. (2019). Perspectivas de la utilización energética de los residuos sólidos municipales en Ucrania. Asociación de Bioenergía de Ucrania.
3. Kostenko, D. M. (2021). Justificación de la viabilidad económica de la producción de biocombustibles sólidos a partir de cultivos energéticos en Ucrania. Járkov: Instituto de Desarrollo Económico Regional, NAS de Ucrania.
4. Pimenov, S. (2025). Transformando la agricultura en energía: desbloqueando el potencial de bioenergía de Ucrania. MDPI.
5. Weiland, P. (2010). Producción de biogás: estado actual y perspectivas. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849–860.
6. DBN V.2.5-23:2018. Redes térmicas. Disposiciones básicas. Kyiv: Ministerio de Desarrollo Regional de Ucrania, 2018.
7. DSTU EN 15359:2011. Combustible sólido recuperado. Especificación y clases. Kyiv: Estándar Estatal de Consumo de Ucrania, 2011.
8. López, J., et al. (2020). Potencial energético a partir de residuos orgánicos mediante digestión anaeróbica y gasificación. *Renewable Energy*, 147, 1980–1992.

[FR_7]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Bioénergie et gestion des déchets

Résumé

Dans les communautés contemporaines, la gestion des déchets organiques constitue un pilier du développement durable et de la gouvernance environnementale. Des stratégies efficaces pour le traitement des résidus alimentaires, des sous-produits agricoles et des déchets municipaux biodégradables répondent aux préoccupations écologiques et renforcent la résilience des économies locales. La digestion anaérobie émerge comme une solution technologique prometteuse, transformant les flux de déchets organiques en énergie renouvelable sous forme d'électricité, de chaleur et de froid. Parallèlement, ce processus produit des engrais organiques de qualité, réintégrables dans les systèmes agricoles, fermant les cycles de nutriments et améliorant la fertilité des sols.

La double fonction de la digestion anaérobie — valorisation énergétique et recyclage des nutriments — la situe à l'intersection de la protection de l'environnement, de la transition énergétique et de l'économie circulaire. En réduisant les émissions de méthane issues de la décomposition incontrôlée, en limitant la dépendance aux combustibles fossiles et en offrant des alternatives durables aux engrais chimiques, cette technologie contribue à l'atténuation du changement climatique et favorise un développement à faible empreinte carbone. L'intégration de systèmes de bioénergie dans les infrastructures municipales renforce l'autonomie énergétique, améliore la gestion des déchets et crée des opportunités d'innovation et d'emplois verts. Ainsi, la bioénergie issue des déchets organiques constitue non seulement un progrès technologique, mais aussi une voie stratégique pour atteindre les objectifs mondiaux de développement durable et renforcer la résilience des communautés face aux défis environnementaux.

Mots-clés: bioénergie, digestion anaérobie, gestion des déchets organiques, énergie renouvelable, économie circulaire, développement durable, recyclage des nutriments, transition bas carbone

Introduction

L'augmentation rapide de la production de déchets ménagers, industriels et agricoles constitue l'un des principaux défis environnementaux du XXI^e siècle. Cette tendance exerce une pression sur les décharges, les écosystèmes et la santé publique, tout en contribuant à une hausse significative des émissions de gaz à effet de serre, notamment le méthane et le dioxyde de carbone, qui accélèrent le changement climatique [1, 2]. L'élimination incontrôlée des déchets dégrade la qualité des sols et de l'eau et augmente la demande de nouvelles terres, créant des risques pour le développement urbain et rural durable.

Dans ce contexte, la bioénergie constitue une stratégie clé pour transformer les déchets organiques en ressources précieuses, favorisant la protection de l'environnement et la stabilité socio-économique. Par des procédés comme la digestion anaérobie et d'autres techniques biotechnologiques, les résidus organiques — déchets alimentaires, sous-produits agricoles et matériaux biodégradables — peuvent être convertis en énergie renouvelable, notamment électricité, chaleur ou froid. Ces procédés produisent également des biofertilisants nutritifs, améliorant la fertilité des sols et réduisant la dépendance aux engrais chimiques [3, 4].

L'application des solutions de bioénergie contribue à la mise en œuvre des principes de l'économie circulaire, garantissant que les matériaux sont continuellement réutilisés plutôt qu'éliminés. De tels systèmes atténuent les impacts écologiques en réduisant le volume de déchets envoyés en décharge et en capturant les émissions de méthane qui s'échapperaient autrement dans l'atmosphère. En outre, l'intégration de la bioénergie dans les infrastructures communautaires favorise l'indépendance énergétique locale, soutient les transitions bas carbone et constitue une base pour l'innovation verte. Par conséquent, la gestion des déchets basée sur la bioénergie ne se limite pas à une alternative technologique, mais représente une approche systémique pour faire face au changement climatique, à la rareté des ressources et au besoin urgent de développement durable des communautés.

Matériaux et méthodes

Afin de réaliser une analyse complète et d'obtenir une évaluation scientifiquement fondée de l'efficacité de l'utilisation des déchets organiques à des fins de bioénergie, il est essentiel de commencer par catégoriser la diversité des flux de déchets dans les systèmes socio-économiques contemporains. Les déchets organiques ne constituent pas un matériau homogène, mais un large spectre de substrats aux propriétés physiques, chimiques et biologiques variées. Ces différences influencent fortement les voies de conversion, l'efficacité de la digestion anaérobie et les impacts environnementaux des technologies choisies. Ainsi, la classification des déchets en catégories distinctes constitue une étape méthodologique clé pour une

évaluation systématique, la comparabilité entre études et le développement de solutions technologiques adaptées.

Les groupes de déchets sélectionnés reflètent l'hétérogénéité de la matière organique générée dans divers secteurs humains : ménages, restauration, production agricole, unités de transformation industrielle et infrastructures municipales vertes. Les déchets alimentaires ont généralement une forte teneur en eau et une biodégradabilité rapide, les rendant adaptés à la digestion anaérobie avec un prétraitement minimal. En revanche, les résidus agricoles comme paille ou tiges de cultures contiennent beaucoup de composés lignocellulosiques, nécessitant un prétraitement (broyage, traitement hydrothermique ou codigestion avec des matières plus dégradables) pour optimiser le rendement en biogaz. Les sous-produits industriels, tels que copeaux de bois ou carton, sont moins biodégradables, mais contribuent au potentiel énergétique lorsqu'ils sont co-traités avec des effluents équilibrant le rapport carbone/azote. Les déchets verts et paysagers, feuilles, herbe et tailles d'arbres, occupent une position intermédiaire et servent souvent de matière complémentaire pour stabiliser la digestion.

Cette typologie multisectorielle souligne la nature systémique des déchets organiques et leur lien avec le métabolisme urbain et les cycles ruraux. En considérant les déchets non comme une charge environnementale isolée mais comme un élément intégré des flux de matières et d'énergie, chercheurs et praticiens peuvent élaborer des stratégies plus efficaces pour leur valorisation durable.

Cette section présente un cadre stratégique pour comprendre les rôles des différents types de déchets organiques dans la production de bioénergie, leurs voies de conversion et leur contribution à l'économie circulaire (Tableau 1).

Tableau 1. Catégories de déchets et potentiel bioénergétique

Type de déchets	Sources	Potentiel d'utilisation
Déchets alimentaires	Ménages, restaurants, industries alimentaires	Biogaz, digestion anaérobie
Déchets agricoles	Paille, résidus de cultures, ensilage	Biogaz, digestion anaérobie
Déchets industriels	Résidus de bois, carton, sous-produits de l'industrie du bois	Biogaz, digestion anaérobie après humidification avec effluents
Déchets verts/paysagers	Herbe, feuilles, tailles d'arbres	Biogaz, digestion anaérobie

Source : élaboration de l'auteur

Les catégories sélectionnées englobent à la fois des flux de déchets hautement dégradables (par ex. déchets alimentaires et ensilage) et des fractions de biomasse plus résistantes (par ex. matériaux lignocellulosiques tels que paille et bois). Leur utilisation combinée dans les systèmes de bioénergie permet une approche intégrée qui maximise le rendement énergétique tout en garantissant l'efficacité écologique.

Technologies de traitement des déchets

La conversion des déchets organiques en énergie renouvelable et en sous-produits agricoles repose sur un ensemble de technologies établies et émergentes :

- Systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité (CHP) et de trigénération – Ces systèmes produisent simultanément électricité, chaleur et froid pour une consommation locale, améliorant l'efficacité énergétique globale par rapport aux systèmes traditionnels à sortie unique.
- Digestion anaérobie (unités de biogaz) – Ce procédé permet la décomposition microbienne de la matière organique en l'absence d'oxygène, produisant du biogaz (principalement du méthane et du CO₂) et un digestat, sous-produit riche en nutriments. L'intégration de la digestion anaérobie avec des technologies de CHP ou de trigénération permet une conversion efficace du biogaz en plusieurs formes d'énergie tout en fermant les cycles des nutriments [5].
- Bénéfices environnementaux – L'effet environnemental est obtenu par la substitution des combustibles fossiles, la réduction des émissions de méthane et de dioxyde de carbone provenant de la décomposition incontrôlée, ainsi que par la production d'engrais organiques pouvant remplacer les produits agrochimiques synthétiques dans les systèmes d'agriculture biologique.

Le cycle technologique de transformation des déchets en énergie peut être schématiquement représenté comme suit (Figure 1) :

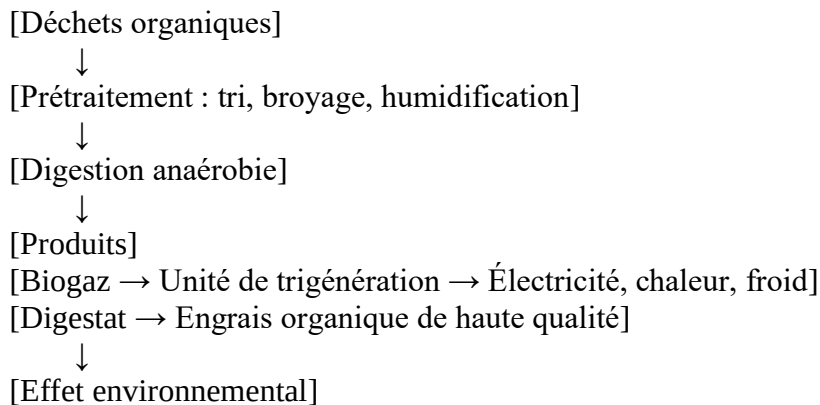


Figure 1. Représentation schématique de la filière déchets → bioénergie et de ses bénéfices environnementaux

Source : élaboration de l'auteur

Cette filière de gestion des déchets illustre la chaîne conceptuelle “Déchets → Digestion anaérobie → Trigénération → Effet environnemental” qui constitue un cadre de référence pour la gestion durable des ressources au sein des communautés locales.

Justification environnementale

La gestion écologiquement rationnelle des matières organiques assure de multiples avantages écologiques et socio-économiques. Ce processus réduit

considérablement les émissions de méthane, dont le potentiel de réchauffement global est environ 28 fois supérieur à celui du CO₂. En détournant les déchets des sites d'enfouissement, il allège la pression sur les systèmes municipaux de gestion des déchets, prolonge la durée de vie des décharges et réduit le risque de contamination par les lixiviats. De plus, l'utilisation du digestat comme fertilisant enrichit la teneur en matière organique du sol, améliore la rétention d'eau et favorise la biodiversité, renforçant ainsi les principes de l'agriculture durable et de l'économie circulaire.

Évaluation du potentiel énergétique

Pour évaluer l'énergie nette potentielle récupérable à partir des déchets organiques, un modèle quantitatif est employé. L'énergie nette (E_{net}) est calculée selon la formule (1) :

$$E_{net} = \sum_{i=1}^n W_i CV_i \eta_{\text{biogas}} (1 - MC_i) \quad (1)$$

où :

E_{net} - énergie nette récupérable à partir des déchets (kWh) ;

i - type de déchet (alimentaire, agricole, industriel, vert) ;

W_i - masse du type de déchet i (tonnes);

CV_i - pouvoir calorifique du type de déchet i (kWh/t);

η_{biogas} - efficacité de conversion du biogaz en électricité, chaleur ou refroidissement ;

MC_i - teneur en humidité du type de déchet i (fraction, 0–1)

Source : développement de l'auteur

Cette approche méthodologique permet une évaluation comparative des différentes catégories de déchets en termes de potentiel énergétique, en tenant compte de la variabilité des niveaux d'humidité, de la valeur calorifique et de l'efficacité technologique de conversion [6, 7, 8]. Le modèle fournit un cadre solide pour optimiser la sélection des matières premières et concevoir des installations communautaires de bioénergie alignées sur les objectifs de développement durable.

Recommandations pratiques pour les communautés

La mise en œuvre réussie des initiatives de bioénergie au niveau communautaire nécessite non seulement l'innovation technologique, mais également une approche globale intégrant le développement des infrastructures, l'optimisation des ressources et la participation active du public. Sur la base des recherches actuelles et des pratiques appliquées, plusieurs recommandations pratiques peuvent être proposées aux municipalités, aux entreprises agricoles et aux communautés locales souhaitant adopter la bioénergie dans le cadre de leurs stratégies de développement durable.

- Déploiement de modules biogaz locaux

- Les installations de biogaz de petite et moyenne taille représentent une solution viable et adaptable pour les quartiers résidentiels, les entreprises agricoles et les infrastructures municipales. Ces systèmes modulaires sont particulièrement avantageux, car ils peuvent être installés directement sur le site de production des déchets, réduisant ainsi les coûts et les impacts environnementaux liés au transport des déchets. De plus, les unités décentralisées de biogaz renforcent l'indépendance énergétique locale en produisant de l'énergie renouvelable à proximité du point de consommation, soutenant la résilience en période d'insécurité énergétique ou de perturbation de l'approvisionnement.
- Humidification des flux de déchets secs
 - L'un des défis de la production de bioénergie, notamment à partir de résidus agricoles ou de sous-produits industriels, est leur faible teneur en humidité. Pour optimiser le processus de digestion anaérobie, il est recommandé d'utiliser les eaux usées traitées des stations municipales pour ajuster l'équilibre hydrique des matières premières. Cette approche améliore simultanément la biodégradabilité des fractions sèches des déchets et contribue à la purification partielle et à la réutilisation des eaux usées, favorisant ainsi les principes de gestion intégrée des ressources et d'économie circulaire.
- Intégration avec des systèmes de trigénération
 - La co-utilisation du biogaz dans des systèmes combinés de production de chaleur, d'électricité et de refroidissement (CHP/trigénération) améliore considérablement l'efficacité énergétique globale des projets de bioénergie. Les communautés peuvent intégrer des unités de trigénération au biogaz dans les infrastructures publiques telles que les écoles, les hôpitaux, les bâtiments administratifs et les centres culturels. En fournissant électricité, chauffage et refroidissement à partir d'une seule source renouvelable, ces systèmes réduisent la dépendance aux combustibles fossiles, stabilisent les coûts énergétiques locaux et contribuent à l'atténuation du changement climatique en diminuant les émissions de gaz à effet de serre.
- Production d'engrais organiques
 - Le digestat généré comme sous-produit de la digestion anaérobie est un matériau riche en nutriments pouvant être appliqué dans l'agriculture biologique, la restauration des sols et l'aménagement paysager urbain. Lorsqu'il est correctement traité, le digestat améliore la structure du sol, stimule l'activité microbienne et reconstitue les nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Les communautés peuvent utiliser cette ressource à la fois dans les zones agricoles et pour la végétalisation des

espaces publics, parcs et terrains dégradés, reliant ainsi les projets de bioénergie à des bénéfices environnementaux et sociaux plus larges.

- Tri et prétraitement des déchets

- Le tri efficace et le prétraitement mécanique ou biologique des déchets organiques avant la digestion améliorent considérablement l'efficacité et la fiabilité du processus. En éliminant les contaminants tels que les plastiques, les métaux ou les substances dangereuses, le risque de dysfonctionnement du système est minimisé et la qualité des produits finaux — biogaz et digestat — est améliorée. L'établissement de systèmes de séparation des déchets au niveau des foyers et des municipalités constitue donc une condition préalable essentielle au succès des initiatives de bioénergie.

- Mesures éducatives et de communication

- Les solutions techniques seules ne peuvent garantir la durabilité des projets de bioénergie communautaires. Il est tout aussi important d'engager les habitants grâce à des actions éducatives et de communication continues. Des programmes de formation, des campagnes publiques et des ateliers doivent être organisés pour sensibiliser aux avantages de la bioénergie, à l'importance du tri des déchets et au rôle plus large des énergies renouvelables dans le développement durable. La participation communautaire augmente non seulement l'efficacité de la collecte et du traitement des déchets, mais favorise également l'acceptation sociale et le soutien à long terme aux infrastructures de bioénergie.

Dans l'ensemble, ces recommandations montrent que l'adoption de la bioénergie dans les communautés ne se limite pas à l'introduction de nouvelles technologies, mais constitue un processus holistique combinant des dimensions techniques, environnementales, économiques et sociales. En mettant en œuvre des stratégies localisées et intégrées, les municipalités peuvent réduire la pression écologique, promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables et renforcer la résilience de leurs populations dans la transition vers un avenir bas carbone.

Justification

Le cadre méthodologique pour l'évaluation du potentiel énergétique des déchets organiques repose sur plusieurs principes interdépendants garantissant la précision scientifique, la comparabilité et l'applicabilité pratique des résultats. Une justification rigoureuse des variables utilisées dans le modèle de calcul est essentielle pour établir à la fois la fiabilité des prévisions énergétiques et la validité des décisions politiques ou d'investissement ultérieures. Les considérations suivantes constituent le fondement de l'approche analytique :

- Somme à travers les catégories de déchets

- L'agrégation des données sur plusieurs types de déchets organiques est cruciale, car différents flux de déchets possèdent des caractéristiques physiques et chimiques distinctes. En additionnant les contributions des résidus alimentaires, des sous-produits agricoles, de la biomasse industrielle et des déchets verts, le modèle saisit l'hétérogénéité de la disponibilité des matières premières au sein d'une communauté ou d'une région donnée. Cette approche garantit que le potentiel énergétique calculé reflète la réalité composite de la production de déchets, plutôt que de se concentrer exclusivement sur un substrat unique. Ainsi, la méthodologie s'aligne sur la pensée systémique et les principes de l'économie circulaire, reconnaissant que l'interaction entre diverses catégories de déchets améliore souvent l'efficacité globale via les processus de co-digestion.
- Masse des déchets comme déterminant du potentiel énergétique
 - La disponibilité quantitative des déchets organiques (mesurée en tonnes ou kilogrammes) influence directement l'échelle de la production énergétique. Même lorsqu'une catégorie de déchets présente une valeur calorifique relativement faible, un volume suffisamment important peut en faire un contributeur significatif au bilan énergétique de la bioénergie. À l'inverse, des résidus à forte densité énergétique peuvent avoir un impact limité si leur masse est négligeable dans le contexte local. Pour cette raison, la collecte précise de données sur les volumes de production de déchets — aux niveaux domestique, municipal et industriel — est indispensable pour une planification énergétique réaliste et pour la conception de la capacité des installations de biogaz.
- Valeur calorifique et coefficients d'efficacité
 - Le potentiel énergétique intrinsèque des matériaux de déchets — quantifié par leur valeur calorifique — constitue un indicateur fondamental de leur aptitude à la valorisation énergétique. Lorsqu'il est couplé à l'efficacité technologique de la conversion du biogaz, il détermine le rendement énergétique net réalisable au sein d'un système donné. Ces paramètres sont généralement établis sur la base de normes techniques reconnues internationalement, de mesures expérimentales en laboratoire et de données issues de publications scientifiques évaluées par des pairs. Les coefficients d'efficacité associés reflètent la proportion d'énergie chimique contenue dans le substrat pouvant être effectivement capturée et convertie en électricité, chaleur ou refroidissement utilisables. Ainsi, l'évaluation de la valeur calorifique et de l'efficacité de conversion constitue un pont essentiel entre le potentiel énergétique théorique et les résultats énergétiques pratiques et mesurables.
- Correction pour la teneur en humidité

- La teneur en humidité représente un facteur de correction critique, car une partie de la masse totale des déchets organiques est constituée d'eau, qui ne contribue pas à la production d'énergie. Une teneur élevée en eau réduit la valeur calorifique effective du substrat, diminuant l'énergie pouvant être extraite lors de la digestion anaérobie ou de la combustion. En intégrant l'ajustement de l'humidité dans le calcul, le modèle distingue entre biomasse productive et masse inerte, fournissant une représentation plus précise du potentiel énergétique net. De plus, cette correction permet d'identifier les catégories de matières premières nécessitant un prétraitement, tel que le déshydratage ou le mélange avec des matériaux plus secs, afin d'améliorer la stabilité du processus et la récupération énergétique.

Résultats

L'évaluation du potentiel de bioénergie dérivé de différentes catégories de déchets organiques fournit une base quantifiable pour apprécier à la fois les avantages environnementaux et économiques de la mise en œuvre de systèmes de bioénergie décentralisés. Les résultats suivants sont issus d'études existantes, de directives techniques et de mises en œuvre pratiques dans des contextes régionaux comparables. Ils mettent en évidence non seulement l'ampleur de la production énergétique, mais également les avantages environnementaux et socio-économiques plus larges associés à l'utilisation circulaire des ressources issues des déchets.

- Rendement énergétique potentiel par tonne métrique de déchets organiques :
 - Déchets alimentaires : environ 100–150 kWh d'électricité et 300–400 kWh d'énergie thermique. Ce rendement relativement modéré reflète la forte teneur en humidité et la valeur calorifique variable des résidus alimentaires. Néanmoins, compte tenu des volumes constants et importants générés dans les communautés urbaines et périurbaines, les déchets alimentaires constituent une source d'énergie stable et prévisible lorsqu'ils sont traités par digestion anaérobie ou co-digestion.
 - Paille et résidus agricoles : environ 150–200 kWh d'électricité et 400–500 kWh d'énergie thermique. Les sous-produits agricoles présentent une efficacité énergétique supérieure en raison de leur teneur en matière sèche plus stable et de leur valeur calorifique. Leur utilisation dans des systèmes de biogaz ou de biomasse contribue également à réduire la combustion à ciel ouvert, principale source d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques locaux.
 - Résidus ligneux : environ 200–250 kWh d'électricité et 500–600 kWh d'énergie thermique. La biomasse ligneuse présente le potentiel énergétique le plus élevé par tonne en raison de sa valeur calorifique élevée et de sa faible teneur en humidité. Bien qu'elle nécessite des étapes de prétraitement

spécifiques, telles que le broyage ou la granulométrie, son intégration dans des systèmes combinés chaleur-électricité (CHP) garantit une conversion énergétique stable et efficace.

- Réduction des émissions de méthane et de CO₂ par rapport à l'enfouissement conventionnel :
 - Les évaluations scientifiques indiquent que la mise en œuvre de systèmes de valorisation énergétique des déchets peut permettre de réduire les émissions de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂) jusqu'à 60–70 % par rapport aux pratiques d'enfouissement traditionnelles [1]. Ceci est particulièrement significatif étant donné le potentiel de réchauffement global (PRG) beaucoup plus élevé du méthane par rapport au dioxyde de carbone. En détournant les déchets biodégradables de la décomposition anaérobie non contrôlée dans les décharges, les systèmes de bioénergie contribuent efficacement aux engagements nationaux dans le cadre des accords climatiques internationaux, y compris l'Accord de Paris.
- Impact économique et efficacité des ressources :
 - Les avantages économiques des systèmes de bioénergie à l'échelle communautaire vont au-delà du remplacement des combustibles fossiles. Le déploiement de technologies de valorisation énergétique des déchets permet aux municipalités de réduire considérablement les dépenses liées à l'élimination des déchets, notamment dans les régions où les taxes sur les décharges, le transport des déchets et l'entretien des sites représentent un fardeau financier substantiel. De plus, les systèmes de bioénergie offrent des opportunités de revenus via la vente d'électricité renouvelable, la fourniture de chaleur aux réseaux locaux ou aux systèmes de chauffage urbain, et la commercialisation du digestat comme engrais organique adapté à l'agriculture durable, à l'aménagement paysager et aux projets de restauration des sols.
- Bénéfices systémiques plus larges :
 - Au-delà des considérations directes liées à l'énergie et aux coûts, le déploiement de la bioénergie favorise l'autosuffisance énergétique locale, renforçant la résilience des communautés confrontées à l'insécurité énergétique ou à des perturbations des systèmes d'approvisionnement centralisés. Il soutient également la création d'emplois dans l'installation, l'exploitation et la maintenance des installations de bioénergie, stimulant ainsi le développement économique régional. En outre, en s'alignant sur les principes de l'économie circulaire, ces systèmes renforcent la gestion environnementale, réduisent la dépendance aux ressources non renouvelables et favorisent l'acceptation sociale des pratiques durables.

Dans l'ensemble, ces résultats soulignent la double justification environnementale et économique pour le développement de systèmes de bioénergie à l'échelle communautaire. Ils mettent également en évidence l'importance d'intégrer des études de faisabilité technique avec des mesures politiques incitant à des transitions durables de la valorisation énergétique des déchets.

Discussion

L'utilisation du biogaz en tant que source d'énergie renouvelable s'est avérée très efficace, en particulier pour les déchets organiques humides tels que les résidus alimentaires, les sous-produits de fruits et légumes, et certains résidus agricoles (ensilage, fumier). Ces substrats sont favorables à la digestion anaérobie en raison de leur forte teneur en eau, de leur biodégradabilité rapide et de leur homogénéité relative, ce qui stimule l'activité microbienne et stabilise la production de biogaz. La digestion anaérobie implique des micro-organismes hydrolytiques, acidogènes, acétogènes et méthanogènes, générant du méthane et du CO₂.

L'optimisation de la composition des matières premières est cruciale pour maximiser le rendement en méthane et la stabilité du système. Les paramètres clés incluent le rapport carbone/azote (C/N), le pH, la température et le temps de séjour hydraulique. Les conditions optimales (C/N 20–30:1, pH 6,8–7,4, températures mésophiles 35–40 °C) favorisent la méthanogenèse, tandis que les écarts peuvent réduire la production de gaz.

Les études pratiques indiquent une variation du potentiel en méthane : les déchets alimentaires domestiques et de restaurants produisent environ 100–150 kWh d'électricité par tonne ; l'ensilage et le fumier peuvent atteindre jusqu'à 200 kWh par tonne. Le mélange stratégique de différents déchets humides stabilise la digestion, augmente la production de méthane de 20–30 % et produit un digestat de haute qualité adapté à l'agriculture biologique.

La biomasse sèche (paille, copeaux de bois, résidus industriels) nécessite un ajustement de l'humidité pour maintenir l'activité microbienne. L'ajout contrôlé d'eaux usées traitées ou d'effluents de procédé (70–85 % d'humidité) améliore l'hydrolyse et la production de méthane, transformant des résidus de faible valeur en énergie renouvelable tout en traitant partiellement les eaux usées.

Les modules bioénergétiques locaux permettent une production décentralisée d'électricité, de chaleur et de froid, réduisant les coûts de transport et les pertes énergétiques. Les petites unités (50–200 kW) conviennent aux clusters résidentiels et aux écoles ; les unités moyennes (200–500 kW) desservent les installations agricoles ou municipales. L'intégration avec des systèmes de trigénération augmente l'efficacité globale à environ 80 %, contre 35–45 % pour la production conventionnelle.

Le prétraitement — tri, broyage, homogénéisation — assure une digestion anaérobie stable et un digestat de haute qualité. L'élimination des contaminants, la réduction de la taille des particules et l'homogénéisation du substrat améliorent l'activité microbienne, le rendement en biogaz et la cohérence des nutriments dans le digestat.

Les systèmes décentralisés offrent des avantages économiques et sociaux : réduction des coûts de gestion des déchets, revenus provenant de l'électricité, de la chaleur et du digestat, création d'emplois et renforcement de l'indépendance énergétique des communautés. Les programmes éducatifs améliorent l'engagement local, les comportements durables et la connaissance des principes de l'économie circulaire.

L'expérience internationale confirme l'efficacité de ces approches dans divers contextes (Allemagne, Danemark, Inde, Kenya, Afrique du Sud). L'intégration des modules de trigénération avec des réseaux intelligents optimise la distribution énergétique, améliore l'efficacité et la flexibilité, et soutient des systèmes énergétiques communautaires fiables, durables et adaptatifs.

En résumé, l'utilisation stratégique des déchets organiques via la digestion anaérobie, les modules bioénergétiques locaux et l'intégration aux réseaux intelligents permet la production d'énergie renouvelable, la fourniture d'engrais organiques et des bénéfices socio-économiques, favorisant le développement communautaire évolutif, durable et résilient.

Conclusions

La bioénergie dans la gestion des déchets constitue un instrument efficace pour la mise en œuvre des principes de l'économie circulaire au niveau communautaire. L'intégration de la digestion anaérobie avec la trigénération permet la production simultanée d'engrais organiques et de biogaz, lequel peut être converti en électricité, chaleur et froid. Cette double fonctionnalité optimise l'utilisation des ressources et transforme les déchets en une source précieuse d'énergie et de nutriments, favorisant le développement local durable.

D'un point de vue environnemental, la digestion anaérobie contrôlée réduit les émissions de méthane et de dioxyde de carbone, atténue les impacts climatiques et minimise l'utilisation des sites d'enfouissement ainsi que les risques de pollution. D'un point de vue économique, les systèmes décentralisés de bioénergie réduisent les coûts de gestion des déchets, créent des emplois verts et favorisent le recyclage des nutriments grâce à l'utilisation du digestat comme engrais organique, soutenant ainsi l'agriculture durable.

Sur le plan social, les unités modulaires de bioénergie et de trigénération renforcent l'indépendance énergétique et la résilience des communautés tout en sensibilisant le public aux pratiques durables.

Pour l'avenir, l'intégration de solutions modulaires de bioénergie dans les systèmes urbains et agricoles constitue une voie holistique vers la protection de l'environnement, la stabilité économique et l'inclusion sociale. Dans ce contexte, la bioénergie apparaît comme un modèle évolutif et reproductible pour promouvoir les objectifs de l'économie circulaire et construire des communautés résilientes et autonomes.

Références

1. Honcharuk, I. (2023). Bioenergy Recycling of Household Solid Waste as a Direction for Ensuring Sustainable Communities. EPJ.
2. UABIO. (2019). Prospects of Energy Utilisation of Municipal Solid Waste in Ukraine. Association ukrainienne de la bioénergie.
3. Kostenko, D. M. (2021). Justification of the Economic Feasibility of Solid Biofuel Production from Energy Crops in Ukraine. Kharkiv : Institut pour le développement économique régional, NAS de l'Ukraine.
4. Pimenov, S. (2025). Transforming Agriculture into Energy: Unlocking Ukraine's Bioenergy Potential. MDPI.
5. Weiland, P. (2010). Biogas Production: Current State and Perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(4), 849–860.
6. DBN V.2.5-23:2018. Réseaux thermiques. Dispositions de base. Kyiv : Ministère du Développement régional de l'Ukraine, 2018.
7. DSTU EN 15359:2011. Combustible solide récupéré. Spécification et classes. Kyiv : Standard national de consommation de l'Ukraine, 2011.
8. López, J., et al. (2020). Energy Potential from Organic Waste via Anaerobic Digestion and Gasification. Renewable Energy, 147, 1980–1992.

[DE_7]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Bioenergie und Abfallmanagement

Zusammenfassung

In modernen Gesellschaften stellt das Management organischer Abfälle eine zentrale Säule der nachhaltigen Entwicklung und der Umweltgovernance dar. Effektive Strategien zur Handhabung von Lebensmittelresten, landwirtschaftlichen Nebenprodukten und biologisch abbaubaren kommunalen Abfällen adressieren nicht nur ökologische Herausforderungen, sondern tragen auch zur Resilienz lokaler Wirtschaftssysteme bei. Die anaerobe Vergärung erweist sich als eine der vielversprechendsten technologischen Lösungen, da sie die Umwandlung organischer Abfallströme in erneuerbare Energie in Form von Strom, Wärme und Kälte ermöglicht. Gleichzeitig entstehen hochwertige organische Düngemittel, die in landwirtschaftliche Systeme zurückgeführt werden können, wodurch Nährstoffkreisläufe geschlossen und die Bodenfruchtbarkeit gesteigert werden.

Die doppelte Funktion der anaeroben Vergärung – Energiegewinnung und Nährstoffrecycling – positioniert diese Technologie an der Schnittstelle von Umweltschutz, Energiewende und Kreislaufwirtschaft. Durch die Reduzierung von Methanemissionen aus unkontrollierter Zersetzung, die Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und die Bereitstellung nachhaltiger Alternativen zu synthetischen Düngemitteln leistet diese Technologie einen Beitrag zur Klimaschutzstrategie und fördert eine kohlenstoffarme Entwicklungsrichtung. Darüber hinaus unterstützt die Integration von Bioenergiesystemen in die kommunale Infrastruktur die Energieautarkie, verbessert die Effizienz des Abfallmanagements und eröffnet Chancen für Innovationen und die Schaffung grüner Arbeitsplätze. Somit ist Bioenergie aus organischen Abfällen nicht nur ein technologischer Fortschritt, sondern auch ein strategischer Ansatz zur Erreichung globaler nachhaltiger Entwicklungsziele und zur Stärkung der Resilienz von Gemeinschaften angesichts ökologischer Herausforderungen.

Schlüsselwörter: Bioenergie, anaerobe Vergärung, organisches Abfallmanagement, erneuerbare Energie, Kreislaufwirtschaft, nachhaltige Entwicklung, Nährstoffrecycling, kohlenstoffarme Transformation

Einleitung

Der rapide Anstieg der Entstehung von Haushalts-, Industrie- und Agrarabfällen hat sich zu einer der zentralen Umweltproblematiken des einundzwanzigsten Jahrhunderts entwickelt. Dieser Trend übt zunehmenden Druck auf Deponien, natürliche Ökosysteme und die öffentliche Gesundheit aus und trägt gleichzeitig zu einem signifikanten Anstieg der Treibhausgasemissionen bei, insbesondere von Methan und Kohlendioxid, die den Klimawandel beschleunigen [1, 2]. Unkontrollierte Abfallentsorgung verschlechtert nicht nur die Boden- und Wasserqualität, sondern erhöht auch die Nachfrage nach neuen Landressourcen, wodurch langfristige Risiken für eine nachhaltige urbane und ländliche Entwicklung entstehen.

Vor diesem Hintergrund stellt Bioenergie eine zentrale Strategie dar, um organische Abfallströme in wertvolle Ressourcen umzuwandeln, die sowohl den Umweltschutz als auch die sozioökonomische Stabilität unterstützen. Durch Prozesse wie anaerobe Vergärung und andere biotechnologische Verfahren können organische Rückstände – einschließlich Lebensmittelabfälle, landwirtschaftlicher Nebenprodukte und biologisch abbaubarer industrieller Materialien – in erneuerbare Energieformen wie Strom, Wärme und Kälte umgewandelt werden. Gleichzeitig entstehen nährstoffreiche Bio-Düngemittel, die die Bodenfruchtbarkeit verbessern und die Abhängigkeit von chemischen Düngemitteln verringern [3, 4].

Der Einsatz von Bioenergie Lösungen unterstützt die Umsetzung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft, indem Materialien kontinuierlich wiederverwendet und nicht entsorgt werden. Solche Systeme verringern die ökologische Belastung, indem sie das Volumen der für Deponien bestimmten Abfälle reduzieren und Methanemissionen auffangen, die sonst in die Atmosphäre gelangen würden. Darüber hinaus fördert die Integration von Bioenergie in die kommunale Infrastruktur die lokale Energieunabhängigkeit, unterstützt kohlenstoffarme Transformationen und schafft Grundlagen für grüne Innovationen. Folglich stellt das abfallbasierte Bioenergiemanagement nicht lediglich eine technologische Alternative dar, sondern einen systemischen Ansatz zur Bewältigung von Klimawandel, Ressourcenknappheit und dem dringenden Bedarf an nachhaltiger Entwicklung von Gemeinschaften.

Materialien und Methoden

Um eine umfassende Analyse durchzuführen und eine wissenschaftlich fundierte Bewertung der Effizienz der Nutzung organischer Abfälle zu bioenergetischen Zwecken zu ermöglichen, ist es zunächst erforderlich, die

vielfältigen Abfallströme, die in modernen sozioökonomischen Systemen entstehen, zu kategorisieren. Organische Abfälle stellen kein homogenes Material dar, sondern umfassen ein breites Spektrum von Substraten, die sich in ihren physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften unterscheiden. Diese Unterschiede beeinflussen maßgeblich die möglichen Konversionspfade, die Effizienz der anaeroben Vergärung sowie die ökologischen Auswirkungen der gewählten Technologien.

Daher ist die Klassifizierung von Abfällen in unterschiedliche Kategorien nicht nur eine deskriptive Aufgabe, sondern ein methodischer Schritt, der eine systematische Bewertung, Vergleichbarkeit zwischen Studien und die Entwicklung angepasster technologischer Lösungen ermöglicht.

Die ausgewählten Abfallgruppen spiegeln die Heterogenität organischer Stoffe wider, die in verschiedenen Sektoren menschlicher Tätigkeit entstehen – darunter private Haushalte, urbane Gastronomiebetriebe, landwirtschaftliche Produktionssysteme, industrielle Verarbeitungsstätten und kommunale Grüninfrastrukturen. Lebensmittelabfälle beispielsweise zeichnen sich durch einen hohen Feuchtigkeitsgehalt und eine schnelle biologische Abbaubarkeit aus, was sie besonders geeignet für die direkte anaerobe Vergärung mit minimaler Vorbehandlung macht.

Im Gegensatz dazu enthalten landwirtschaftliche Rückstände wie Stroh oder Erntereste hohe Anteile an lignozellulosischen Verbindungen, die zusätzliche Vorbehandlungsverfahren erfordern (z. B. Zerkleinerung, hydrothermale Behandlung oder Kofermentation mit leichter abbaubaren Substraten), um die Biogasausbeute zu optimieren.

Industrielle Nebenprodukte – etwa Holzspäne oder Kartonagen – sind für sich genommen weniger gut biologisch abbaubar, können jedoch das energetische Potenzial erheblich steigern, wenn sie gemeinsam mit flüssigen Reststoffen verarbeitet werden, die das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis ausgleichen. Grün- und Landschaftsabfälle, die saisonale Biomasse wie Laub, Gras oder Gehölzschnitt umfassen, nehmen eine Zwischenstellung ein und dienen häufig als ergänzendes Substrat zur Stabilisierung der Vergärungsprozesse.

Diese sektorenübergreifende Typologie verdeutlicht die systemische Natur der Entstehung organischer Abfälle und ihre enge Verbindung sowohl mit dem urbanen Stoffwechsel als auch mit ländlichen Produktionskreisläufen. Wenn Abfälle nicht als isolierte Umweltbelastung, sondern als integraler Bestandteil von Material- und Energieflüssen betrachtet werden, können Forschende und Praktiker effektivere Strategien zur nachhaltigen Ressourcennutzung entwickeln.

Dieser Abschnitt skizziert einen strategischen Rahmen für das Verständnis der potenziellen Rolle verschiedener Arten organischer Abfälle in der

Bioenergieproduktion, ihrer technologischen Umwandlungswege und ihres Beitrags zu den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft. (Tabelle 1.)

Tabelle 1. Abfallkategorien und Bioenergiepotenzial

Abfalltyp	Herkunft	Nutzungspotenzial
Lebensmittelabfälle	Haushalte, Restaurants, Lebensmittelverarbeitungsbetriebe	Biogas, anaerobe Vergärung
Landwirtschaftliche Abfälle	Stroh, Erntereste, Silage	Biogas, anaerobe Vergärung
Industrielle Abfälle	Holzreste, Kartonagen, Nebenprodukte der Holzindustrie	Biogas, anaerobe Vergärung nach Befeuchtung mit Reststoffen
Grün- und Landschaftsabfälle	Gras, Laub, Gehölzschnitt	Biogas, anaerobe Vergärung

Quelle: Eigene Darstellung des Autors

Die ausgewählten Kategorien umfassen sowohl hochgradig abbaubare Abfallströme (z. B. Lebensmittelabfälle und Silage) als auch widerstandsfähigere Biomassefraktionen (z. B. lignozellulose Materialien wie Stroh und Holz). Ihre kombinierte Nutzung innerhalb bioenergetischer Systeme ermöglicht einen integrierten Ansatz, der die Energieerträge maximiert und gleichzeitig ökologische Effizienz sicherstellt.

Abfallverarbeitungstechnologien

Die Umwandlung organischer Abfälle in erneuerbare Energie und landwirtschaftliche Nebenprodukte wird durch eine Reihe etablierter und neu entstehender Technologien unterstützt:

- Kraft-Wärme-Kopplungs- (KWK) und Trigenerationssysteme – Diese Systeme ermöglichen die gleichzeitige Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte für den lokalen Verbrauch und erhöhen die gesamte Energieeffizienz erheblich im Vergleich zu traditionellen Anlagen mit nur einem Energieoutput.
- Anaerobe Vergärung (Biogasanlagen) – Dieser Prozess ermöglicht den mikrobiellen Abbau organischer Stoffe unter Sauerstoffausschluss und führt zur Bildung von Biogas (hauptsächlich Methan und CO₂) sowie Gärresten, einem nährstoffreichen Nebenprodukt. Die Integration der anaeroben Vergärung mit KWK- oder Trigenerationstechnologien erlaubt eine effiziente Umwandlung von Biogas in verschiedene Energieformen und trägt gleichzeitig zur Schließung von Nährstoffkreisläufen bei [5].
- Ökologische Vorteile – Der positive Umwelteffekt wird durch die Substitution fossiler Brennstoffe, die Verringerung von Methan- und Kohlendioxidemissionen aus unkontrolliertem Abbau sowie durch die Produktion organischer Düngemittel erzielt, die synthetische Agrochemikalien in ökologischen Landwirtschaftssystemen ersetzen können.

Der technologische Kreislauf der Abfall-zu-Energie-Transformation lässt sich schematisch wie folgt darstellen (Abbildung 1).

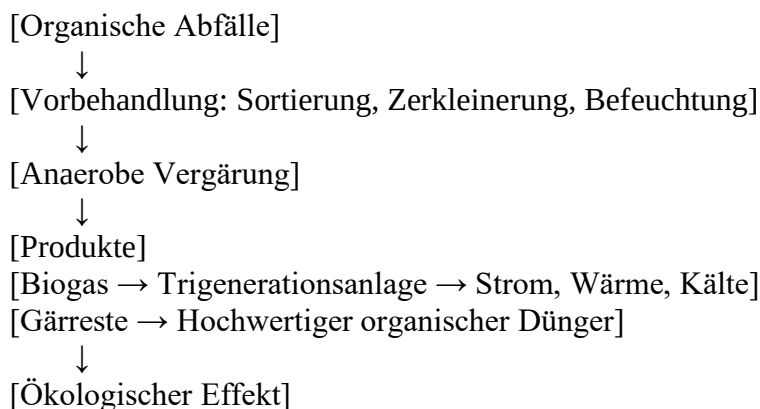


Abbildung 1. Schematische Darstellung des Abfall-zu-Bioenergie-Pfades und der ökologischen Vorteile

Quelle: Eigene Darstellung des Autors

Dieser Entsorgungs- und Verwertungspfad verdeutlicht die Kette „Abfall → Anaerobe Vergärung → Trigeneration → Ökologischer Effekt“, die als konzeptioneller Rahmen für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement in lokalen Gemeinschaften dient.

Umweltbegründung

Eine umweltgerechte Bewirtschaftung organischer Ausgangsstoffe gewährleistet vielfältige ökologische und sozioökonomische Vorteile. Der Prozess reduziert Methanemissionen erheblich, deren Treibhauspotenzial etwa 28-mal höher ist als das von CO₂. Durch die Umlenkung organischer Abfälle von Deponien wird der Druck auf kommunale Abfallwirtschaftssysteme gemindert, die Lebensdauer der Deponien verlängert und das Risiko von Sickerwasserbelastungen verringert. Darüber hinaus verbessert die Verwendung von Gärresten als Düngemittel den organischen Bodengehalt, erhöht die Wasserhaltekapazität und fördert die Biodiversität. Damit werden die Prinzipien einer nachhaltigen Landwirtschaft und der Kreislaufwirtschaft gestärkt.

Bewertung des Energiepotenzials

Dieser methodische Ansatz ermöglicht eine vergleichende Analyse verschiedener Abfallkategorien im Hinblick auf ihr Energiepotenzial unter Berücksichtigung der Variabilität von Feuchtigkeitsgehalt, Heizwert und technologischer Umwandlungseffizienz [6, 7, 8]. Das Modell bietet ein belastbares Rahmenkonzept zur Optimierung der Substratauswahl und zur Entwicklung gemeinschaftsbasierter Bioenergieanlagen, die mit den Zielen der nachhaltigen Entwicklung im Einklang stehen.

Zur Beurteilung der potenziell rückgewinnbaren Nettoenergie aus organischen Abfällen wird ein quantitatives Modell angewandt. Die Nettoenergie (E_{net}) wird nach Gleichung (1) berechnet:

$$E_{\text{net}} = \sum_{i=1}^n W_i CV_i \eta_{\text{biogas}} (1 - MC_i) \quad (1)$$

wobei gilt:

E_{net} - netto rückgewinnbare Energie aus Abfällen (kWh);

i - Abfallart (Lebensmittel-, landwirtschaftliche, industrielle oder Grünabfälle);

W_i - Masse der Abfallart i (Tonnen);

CV_i - Heizwert der Abfallart i (kWh/t);

η_{biogas} - Umwandlungseffizienz von Biogas in Strom, Wärme oder Kälte;

MC_i - Feuchtigkeitsgehalt der Abfallart i (Fraktion, 0–1).

Quelle: Eigene Ausarbeitung der Autorin/des Autors.

Praktische Empfehlungen für Gemeinden

Die erfolgreiche Umsetzung von Bioenergieinitiativen auf Gemeindeebene erfordert nicht nur technologische Innovationen, sondern auch einen umfassenden Ansatz, der Infrastrukturentwicklung, Ressourcenoptimierung und Bürgerbeteiligung verbindet. Auf Basis aktueller Forschungsergebnisse und bewährter Praktiken lassen sich praxisorientierte Empfehlungen für Kommunen, landwirtschaftliche Betriebe und lokale Gemeinschaften formulieren, die Bioenergie in ihre Strategien für nachhaltige Entwicklung integrieren möchten.

- Einsatz lokaler Biogasmodule

- Klein- und mittelgroße Biogasanlagen stellen eine praktikable und anpassungsfähige Lösung für Wohngebiete, landwirtschaftliche Betriebe und kommunale Einrichtungen dar. Diese modularen Systeme bieten den Vorteil, direkt am Ort der Abfallentstehung installiert zu werden, wodurch Transportkosten und die damit verbundenen Umweltbelastungen reduziert werden. Zudem fördern dezentrale Biogaseinheiten die lokale Energieunabhängigkeit, indem sie erneuerbare Energie in unmittelbarer Nähe zum Verbrauchsort erzeugen und so die Widerstandsfähigkeit in Zeiten von Energieunsicherheit oder Lieferunterbrechungen stärken.

- Befeuchtung trockener Abfallströme

- Eine der Herausforderungen bei der Bioenergieerzeugung, insbesondere aus landwirtschaftlichen Reststoffen oder industriellen Nebenprodukten, ist der geringe Feuchtigkeitsgehalt dieser Materialien. Um den anaeroben Vergärungsprozess zu optimieren, wird empfohlen, behandeltes Abwasser aus kommunalen Kläranlagen zur Anpassung des Wasserhaushalts des Substrats zu nutzen. Dieser Ansatz verbessert die biologische Abbaubarkeit trockener Abfallfraktionen und ermöglicht eine teilweise Reinigung und

Wiederverwendung von Abwasser, wodurch die Prinzipien der integrierten Ressourcenbewirtschaftung und der Kreislaufwirtschaft gestärkt werden.

- Integration in Trigenerationssysteme
 - Die Nutzung von Biogas in kombinierten Wärme-, Strom- und Kältesystemen (KWK/Trigeneration) steigert die Gesamteffizienz von Bioenergieprojekten. Gemeinden können biogasbasierte Trigenerationsanlagen in öffentliche Infrastrukturen wie Schulen, Krankenhäuser, Verwaltungsgebäude und Kulturzentren einbinden. Strom, Wärme und Kühlung aus einer einzigen erneuerbaren Quelle verringern die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, stabilisieren die lokalen Energiekosten und reduzieren den Treibhausgasausstoß, was zur Eindämmung des Klimawandels beiträgt.
- Produktion organischer Düngemittel
 - Das bei der anaeroben Vergärung entstehende Gärprodukt (Digestat) ist ein nährstoffreiches Material, das in der ökologischen Landwirtschaft, bei der Bodenregeneration und in der städtischen Begrünung genutzt werden kann. Bei sachgemäßer Aufbereitung verbessert das Digestat die Bodenstruktur, fördert die mikrobielle Aktivität und liefert essentielle Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Kalium. Gemeinden können diese Ressource sowohl in landwirtschaftlichen Gebieten als auch zur Begrünung öffentlicher Räume, Parks und degradierter Flächen einsetzen und so Bioenergieprojekte mit ökologischen und sozialen Vorteilen verbinden.
- Sortierung und Vorbehandlung von Abfällen
 - Eine effektive Sortierung sowie mechanische oder biologische Vorbehandlung organischer Abfälle vor der Vergärung steigern die Effizienz und Zuverlässigkeit des Prozesses. Das Entfernen von Verunreinigungen wie Kunststoffen, Metallen oder Schadstoffen reduziert das Risiko von Störungen und verbessert die Qualität von Biogas und Digestat. Abfalltrennungssysteme auf Haushalts- und Gemeindeebene sind daher entscheidend für den Erfolg von Bioenergieinitiativen.
- Bildungs- und Kommunikationsmaßnahmen
 - Technische Lösungen allein sichern die Nachhaltigkeit gemeindebasierter Bioenergieprojekte nicht. Ebenso wichtig ist, die Bevölkerung durch Bildungs- und Kommunikationsmaßnahmen einzubeziehen. Schulungen, Informationskampagnen und Workshops stärken das Bewusstsein für Bioenergie, Abfalltrennung und erneuerbare Energien. Die aktive Beteiligung der Gemeinschaft erhöht die Effizienz der Abfallsammlung und -verarbeitung und fördert Akzeptanz sowie langfristige Unterstützung der Bioenergieinfrastruktur.

Insgesamt zeigen diese Empfehlungen, dass die Einführung von Bioenergie in Gemeinden nicht ausschließlich in der Anwendung neuer Technologien besteht, sondern einen ganzheitlichen Prozess darstellt, der technische, ökologische, wirtschaftliche und soziale Dimensionen vereint. Durch die Umsetzung lokalisierter und integrierter Strategien können Kommunen den ökologischen Druck mindern, die Nutzung erneuerbarer Energien fördern und die Resilienz ihrer Bevölkerung im Übergang zu einer kohlenstoffarmen Zukunft stärken.

Begründung

Das methodische Rahmenkonzept zur Bewertung des Energiepotenzials organischer Abfälle basiert auf mehreren miteinander verknüpften Prinzipien, die wissenschaftliche Genauigkeit, Vergleichbarkeit und praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse gewährleisten. Eine fundierte Begründung der im Berechnungsmodell verwendeten Variablen ist entscheidend, um sowohl die Verlässlichkeit der Energieprognosen als auch die Gültigkeit daraus abgeleiteter politischer oder investiver Entscheidungen sicherzustellen. Die folgenden Überlegungen bilden die Grundlage des analytischen Ansatzes:

- Summation über Abfallkategorien hinweg
 - Die Aggregation von Daten zu verschiedenen Arten organischer Abfälle ist zentral, da unterschiedliche Abfallströme spezifische physikalische und chemische Eigenschaften besitzen. Durch die Summierung der Beiträge aus Lebensmittelresten, landwirtschaftlichen Nebenprodukten, industrieller Biomasse und Grünabfällen erfasst das Modell die Heterogenität der Substratverfügbarkeit in einer Gemeinde oder Region. So stellt der Ansatz sicher, dass das berechnete Energiepotenzial die zusammengesetzte Realität der Abfallerzeugung widerspiegelt, statt sich nur auf ein einzelnes Substrat zu konzentrieren. Die Methodik steht damit im Einklang mit systemischem Denken und den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft, indem sie anerkennt, dass die Wechselwirkung verschiedener Abfallkategorien durch Kofermentationsprozesse häufig die Gesamteffizienz steigert.
- Abfallmasse als Bestimmungsfaktor des Energiepotenzials
 - Die quantitative Verfügbarkeit organischer Abfälle (gemessen in Tonnen oder Kilogramm) beeinflusst unmittelbar den Umfang der möglichen Energieerzeugung. Selbst wenn eine Abfallkategorie einen vergleichsweise niedrigen Heizwert aufweist, kann ein ausreichend großes Volumen sie zu einem bedeutenden Beitrag im Bioenergiebilanzsystem machen. Umgekehrt haben Rückstände mit hoher Energiedichte möglicherweise nur begrenzte Relevanz, wenn ihre Masse im lokalen Kontext gering ist. Daher ist die präzise Datenerhebung zu Abfallmengen – auf Haushalts-, Gemeinde- und

Industrieebene – eine unverzichtbare Voraussetzung für realistische Energieplanungen und die dimensionale Auslegung von Biogasanlagen.

- Heizwert und Effizienzkoeffizienten
 - Das inhärente Energiepotenzial von Abfallmaterialien – bestimmt durch ihren Heizwert – dient als grundlegender Indikator für ihre Eignung zur Energiegewinnung. Zusammen mit der Effizienz der Biogasumwandlung bestimmt dieser Parameter den Nettoenergieertrag, der innerhalb eines Systems erzielt werden kann. Diese Größen werden üblicherweise auf Basis international anerkannter technischer Normen, empirischer Laboranalysen und begutachteter Forschungsdaten festgelegt. Die entsprechenden Effizienzkoeffizienten zeigen den Anteil der chemischen Energie des Substrats, der tatsächlich in nutzbaren Strom, Wärme oder Kälte umgesetzt werden kann. Damit bildet die kombinierte Bewertung von Heizwert und Umwandlungseffizienz eine entscheidende Verbindung zwischen theoretischem Energiepotenzial und praktisch messbaren Energieergebnissen.
- Korrektur des Feuchtigkeitsgehalts
 - Der Feuchtigkeitsgehalt stellt einen entscheidenden Korrekturfaktor dar, da ein Teil der Gesamtmasse organischer Abfälle aus Wasser besteht, das nicht zur Energieerzeugung beiträgt. Ein hoher Wasseranteil reduziert den effektiven Heizwert des Substrats und mindert die Energieausbeute bei der anaeroben Vergärung oder Verbrennung. Durch die Einbeziehung der Feuchtigkeitskorrektur in das Berechnungsmodell wird zwischen produktiver Biomasse und inaktiver Masse unterschieden, was zu einer präziseren Darstellung des Nettoenergiepotenzials führt. Darüber hinaus ermöglicht diese Korrektur die Identifizierung von Substratkategorien, die eine Vorbehandlung – etwa Entwässerung oder Zumischung trockener Materialien – erfordern, um die Prozessstabilität und Energieausbeute zu verbessern.

Ergebnisse

Die Bewertung des Bioenergiepotenzials aus verschiedenen Kategorien organischer Abfälle bietet eine quantifizierbare Grundlage zur Beurteilung der ökologischen und wirtschaftlichen Vorteile bei der Umsetzung dezentraler Bioenergiesysteme. Die Ergebnisse basieren auf Studien, technischen Richtlinien und praktischen Umsetzungen in vergleichbaren Regionen. Sie zeigen sowohl das Energieerzeugungspotenzial als auch die ökologischen und sozioökonomischen Vorteile der zirkulären Nutzung von Abfallressourcen.

- Potenzielle Energieausbeute aus einer Tonne organischer Abfälle:
 - Lebensmittelabfälle: ca. 100–150 kWh elektrische Energie und 300–400 kWh thermische Energie.

Diese vergleichsweise moderate Ausbeute spiegelt den hohen Feuchtigkeitsgehalt und den variablen Heizwert von Nahrungsresten wider. Dennoch stellen Lebensmittelabfälle aufgrund ihres konstanten und umfangreichen Aufkommens in urbanen und peri-urbanen Räumen eine stabile und gut prognostizierbare Energiequelle dar, insbesondere bei der Verarbeitung durch anaerobe Vergärung oder Kofermentationssysteme.

- Stroh und landwirtschaftliche Rückstände: ca. 150–200 kWh elektrische Energie und 400–500 kWh thermische Energie.

Landwirtschaftliche Nebenprodukte weisen aufgrund ihres stabileren Trockensubstanzgehalts und höheren Heizwertes eine größere Energieeffizienz auf. Ihre Nutzung in Biogas- oder Biomassensystemen trägt zudem zur Verringerung offener Feldverbrennungen bei, die eine bedeutende Quelle von Treibhausgasemissionen und lokalen Luftschadstoffen darstellen.

- Holzbasierte Rückstände: ca. 200–250 kWh elektrische Energie und 500–600 kWh thermische Energie.

Holzbiomasse weist aufgrund ihres höheren Heizwertes und geringeren Feuchtigkeitsgehalts das größte Energiepotenzial pro Tonne auf. Obwohl spezifische Vorbehandlungsschritte wie das Hacken oder Pelletieren erforderlich sind, gewährleistet ihre Integration in Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-Systeme eine stabile und hocheffiziente Energiekonversion.

- Reduktion der Methan- und CO₂-Emissionen im Vergleich zur Deponierung:

Wissenschaftliche Analysen belegen, dass Waste-to-Energy-Systeme die Methan-(CH₄)- und Kohlendioxid-(CO₂)-Emissionen um etwa 23–33 % gegenüber konventioneller Deponierung senken können [1]. Aufgrund des deutlich höheren Treibhauspotenzials (GWP) von Methan im Vergleich zu Kohlendioxid trägt die gezielte Umlenkung biologisch abbaubarer Abfälle aus unkontrollierten Deponieprozessen wesentlich zur Erfüllung nationaler Verpflichtungen im Rahmen internationaler Klimaabkommen, einschließlich des Pariser Abkommens, bei.

- Wirtschaftliche Auswirkungen und Ressourceneffizienz:

Die ökonomischen Vorteile von Bioenergiesystemen auf Gemeindeebene gehen über den bloßen Ersatz fossiler Brennstoffe hinaus. Der Einsatz von Waste-to-Energy-Technologien ermöglicht es Kommunen, die Ausgaben für Abfallentsorgung deutlich zu senken, insbesondere in Regionen, in denen Deponiesteuern, Abfalltransporte und Deponieunterhaltung eine erhebliche finanzielle Belastung darstellen. Darüber hinaus eröffnen Bioenergiesysteme Einnahmemöglichkeiten durch den Verkauf von erneuerbarem Strom, die Einspeisung von Wärme in lokale Netze oder Fernwärmesysteme sowie die

Vermarktung von Gärresten als organischen Dünger für nachhaltige Landwirtschaft, Landschaftspflege und Bodenrekultivierung.

- Übergreifende systemische Vorteile:

Jenseits der unmittelbaren Energie- und Kostenvorteile stärkt der Einsatz von Bioenergie die lokale Energieautarkie und erhöht die Resilienz von Gemeinden, die mit Energieunsicherheit oder Störungen zentralisierter Versorgungssysteme konfrontiert sind. Zudem fördert er die Schaffung von Arbeitsplätzen in Installation, Betrieb und Wartung von Bioenergieanlagen und stimuliert dadurch die regionale Wirtschaftsentwicklung. Durch die Ausrichtung an Prinzipien der Kreislaufwirtschaft tragen solche Systeme zur Stärkung des Umweltbewusstseins, zur Verringerung der Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen und zur gesellschaftlichen Akzeptanz nachhaltiger Praktiken bei.

Zusammenfassend unterstreichen diese Ergebnisse die doppelte ökologische und wirtschaftliche Begründung für den Ausbau von Bioenergiesystemen auf Gemeindeebene. Sie verdeutlichen zudem die Bedeutung der Verknüpfung technischer Machbarkeitsstudien mit politischen Maßnahmen, die nachhaltige Waste-to-Energy-Übergänge fördern und incentivieren.

Diskussion

Die Nutzung von Biogas als erneuerbare Energiequelle ist besonders effizient bei feuchten organischen Abfällen – etwa Lebensmittelresten, Obst- und Gemüsebeiprodukten sowie landwirtschaftlichen Rückständen (Silage, Gülle). Dank ihres hohen Feuchtigkeitsgehalts, der schnellen biologischen Abbaubarkeit und Homogenität fördern diese Substrate die mikrobielle Aktivität und stabilisieren die Biogasproduktion. Der anaerobe Vergärungsprozess umfasst hydrolytische, acidogene, acetogene und methanogene Mikroorganismen, die Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) erzeugen.

Die Optimierung der Substratzusammensetzung ist entscheidend für die Maximierung der Methanausbeute und die Stabilität des Systems. Zu den Schlüsselfaktoren zählen das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C/N), der pH-Wert, die Temperatur und die hydraulische Verweilzeit. Optimale Bedingungen (C/N 20–30:1, pH 6,8–7,4, mesophile Temperaturen 35–40 °C) fördern die Methanogenese, während Abweichungen die Gasproduktion verringern können.

Praktische Untersuchungen zeigen Unterschiede im Methanpotenzial: Haushalts- und Gastronomieabfälle liefern etwa 100–150 kWh Strom pro Tonne, während Silage und Gülle bis zu 200 kWh pro Tonne erreichen können. Eine gezielte Kombination verschiedener feuchter Abfallarten stabilisiert den Vergärungsprozess, erhöht die Methanproduktion um 20–30 % und führt zu hochwertigem Gärrest, der sich als organischer Dünger für den ökologischen Landbau eignet.

Trockene Biomasse (Stroh, Hackschnitzel, industrielle Rückstände) erfordert eine Feuchtigkeitsanpassung, um die mikrobielle Aktivität aufrechtzuerhalten. Die kontrollierte Zugabe von behandeltem Abwasser oder Prozessrückflüssen (70–85 % Feuchtigkeit) verbessert die Hydrolyse und Methanbildung, wodurch minderwertige Rückstände in erneuerbare Energie umgewandelt und gleichzeitig Abwässer teilweise behandelt werden.

Lokale Bioenergiemodule ermöglichen eine dezentrale Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte, wodurch Transportkosten und Energieverluste reduziert werden. Kleine Einheiten (50–200 kW) eignen sich für Wohnkomplexe und Bildungseinrichtungen, während mittlere Anlagen (200–500 kW) in landwirtschaftlichen oder kommunalen Betrieben eingesetzt werden können. Die Integration in Tri-Generationssysteme erhöht die Gesamteffizienz auf etwa 80 %, verglichen mit 35–45 % bei konventionellen Anlagen.

Vorbehandlungsprozesse – Sortierung, Zerkleinerung, Homogenisierung – gewährleisten eine stabile anaerobe Vergärung und eine gleichmäßige Qualität des Gärrests. Das Entfernen von Verunreinigungen, die Reduktion der Partikelgröße und die Homogenisierung des Substrats fördern die mikrobielle Aktivität, steigern die Biogasausbeute und verbessern die Nährstoffkonsistenz des Endprodukts.

Dezentrale Systeme bieten wirtschaftliche und soziale Vorteile: niedrigere Kosten für die Abfallbewirtschaftung, zusätzliche Einnahmen aus Strom-, Wärme- und Gärrestverkäufen, neue Beschäftigungsmöglichkeiten und größere Energieunabhängigkeit der Gemeinden. Bildungsprogramme stärken lokale Beteiligung, nachhaltiges Verhalten und das Verständnis der Kreislaufwirtschaft.

Internationale Erfahrungen bestätigen die Wirksamkeit solcher Systeme in verschiedenen Kontexten (Deutschland, Dänemark, Indien, Kenia, Südafrika). Die Integration von Tri-Generationsmodulen in Smart Grids optimiert die Energieverteilung, erhöht Effizienz und Flexibilität und unterstützt den Aufbau zuverlässiger, nachhaltiger und anpassungsfähiger lokaler Energiesysteme.

Zusammenfassend ermöglicht die strategische Nutzung organischer Abfälle durch anaerobe Vergärung, lokale Bioenergiemodule und die Integration in intelligente Energienetze die Erzeugung erneuerbarer Energie, die Produktion organischer Dünger und die Schaffung sozioökonomischer Vorteile – und fördert damit eine skalierbare, nachhaltige und resiliente Entwicklung von Gemeinschaften.

Schlussfolgerungen

Die Nutzung von Bioenergie in der Abfallwirtschaft ist ein wirksames Mittel zur Umsetzung der Prinzipien der Kreislaufwirtschaft auf kommunaler Ebene. Die Kombination der anaeroben Vergärung mit Tri-Generationssystemen ermöglicht die gleichzeitige Produktion organischer Düngemittel und Biogas, das in Strom, Wärme und Kälte umgewandelt werden kann. Diese doppelte Funktionalität optimiert die

Ressourcennutzung und macht Abfälle zu einer wertvollen Energie- und Nährstoffquelle, wodurch eine nachhaltige lokale Entwicklung gefördert wird.

Ökologisch gesehen führt die kontrollierte anaerobe Vergärung zu einer deutlichen Reduktion von Methan- und Kohlendioxidemissionen, mindert Klimaauswirkungen und verringert die Nutzung von Deponien sowie die damit verbundenen Verschmutzungsrisiken. Wirtschaftlich senken dezentrale Bioenergiesysteme die Kosten der Abfallbewirtschaftung, schaffen „grüne“ Arbeitsplätze und fördern den Nährstoffkreislauf durch die Verwendung von Gärresten als organischen Dünger, was die nachhaltige Landwirtschaft unterstützt.

Aus sozialer Perspektive stärken modulare Bioenergie- und Tri-Generationsanlagen die Energieunabhängigkeit und Resilienz der Gemeinden und erhöhen zugleich das öffentliche Bewusstsein für nachhaltige Praktiken.

Zukünftig eröffnet die Integration modularer Bioenergielösungen in urbane und landwirtschaftliche Systeme einen ganzheitlichen Weg zu Umweltschutz, wirtschaftlicher Stabilität und sozialer Inklusion. In diesem Zusammenhang erweist sich die Bioenergie als skalierbares und replizierbares Modell zur Förderung der Ziele der Kreislaufwirtschaft und zum Aufbau widerstandsfähiger, selbstversorgender Gemeinschaften.

Literaturverzeichnis

1. Honcharuk, I. (2023). Bioenergy Recycling of Household Solid Waste as a Direction for Ensuring Sustainable Communities. EPJ.
2. UABIO. (2019). Prospects of Energy Utilisation of Municipal Solid Waste in Ukraine. Bioenergy Association of Ukraine.
3. Kostenko, D. M. (2021). Justification of the Economic Feasibility of Solid Biofuel Production from Energy Crops in Ukraine. – Charkiw: Institute for Regional Economic Development, NAS der Ukraine.
4. Pimenov, S. (2025). Transforming Agriculture into Energy: Unlocking Ukraine's Bioenergy Potential. MDPI.
5. Weiland, P. (2010). Biogas Production: Current State and Perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(4), 849–860.
6. DBN V.2.5-23:2018. Thermal Networks. Basic Provisions. – Kyjiw: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2018.
7. DSTU EN 15359:2011. Solid Recovered Fuel. Specification and Classes. – Kyjiw: State Consumer Standard of Ukraine, 2011.
8. López, J., et al. (2020). Energy Potential from Organic Waste via Anaerobic Digestion and Gasification. Renewable Energy, 147, 1980–1992.

[PT_7]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
[e-mail: cfsahi84@gmail.com](mailto:cfsahi84@gmail.com); ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Bioenergia e gestão de resíduos

Resumo

Nas comunidades contemporâneas, a gestão de resíduos orgânicos representa um pilar fundamental para o desenvolvimento sustentável e a governança ambiental. Estratégias eficazes para o manejo de resíduos alimentares, subprodutos agrícolas e resíduos municipais biodegradáveis não apenas respondem a preocupações ecológicas, mas também contribuem para a resiliência das economias locais. A digestão anaeróbia surge como uma das soluções tecnológicas mais promissoras, permitindo a transformação de fluxos de resíduos orgânicos em energia renovável na forma de eletricidade, calor e frio. Paralelamente, o processo gera fertilizantes orgânicos de alta qualidade que podem ser reintegrados aos sistemas agrícolas, fechando ciclos de nutrientes e melhorando a fertilidade do solo.

A dupla função da digestão anaeróbia — recuperação de energia e reciclagem de nutrientes — posiciona esta tecnologia na interseção da proteção ambiental, da transição energética e das práticas de economia circular. Ao reduzir as emissões de metano provenientes da decomposição descontrolada, diminuir a dependência de combustíveis fósseis e fornecer alternativas sustentáveis aos fertilizantes sintéticos, esta tecnologia contribui para a mitigação das alterações climáticas e promove uma trajetória de desenvolvimento de baixo carbono. Além disso, a integração de sistemas de bioenergia na infraestrutura municipal favorece a autossuficiência energética, melhora a eficiência da gestão de resíduos e cria oportunidades para inovação e geração de empregos verdes. Dessa forma, a bioenergia proveniente de resíduos orgânicos não é apenas um avanço tecnológico, mas também um caminho estratégico para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável globais e fortalecer a resiliência comunitária diante de desafios ambientais.

Palavras-chave: bioenergia, digestão anaeróbia, gestão de resíduos orgânicos, energia renovável, economia circular, desenvolvimento sustentável, reciclagem de nutrientes, transição de baixo carbono

Introdução

O rápido aumento na geração de resíduos domésticos, industriais e agrícolas tornou-se um dos principais desafios ambientais do século XXI. Essa tendência exerce crescente pressão sobre aterros, ecossistemas naturais e saúde pública, enquanto contribui significativamente para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, particularmente metano e dióxido de carbono, acelerando as alterações climáticas [1, 2]. A disposição inadequada de resíduos não apenas degrada a qualidade do solo e da água, mas também intensifica a demanda por novos recursos territoriais, criando riscos de longo prazo para o desenvolvimento urbano e rural sustentável.

Nesse contexto, a bioenergia emerge como uma estratégia central para transformar fluxos de resíduos orgânicos em recursos valiosos que sustentam tanto a proteção ambiental quanto a estabilidade socioeconômica. Por meio de processos como a digestão anaeróbia e outras abordagens biotecnológicas, resíduos orgânicos — incluindo resíduos alimentares, subprodutos agrícolas e materiais industriais biodegradáveis — podem ser convertidos em formas renováveis de energia, como eletricidade, calor e frio. Simultaneamente, esses processos geram biofertilizantes ricos em nutrientes, que aumentam a fertilidade do solo e reduzem a dependência de fertilizantes químicos [3, 4].

A aplicação de soluções de bioenergia contribui para a implementação dos princípios da economia circular, garantindo que os materiais sejam continuamente reutilizados em vez de descartados. Tais sistemas mitigam os impactos ecológicos ao reduzir o volume de resíduos destinados a aterros e ao capturar as emissões de metano que, de outra forma, escapariam para a atmosfera. Além disso, a integração da bioenergia na infraestrutura comunitária promove a independência energética local, apoia a transição para baixo carbono e fornece uma base para inovações verdes. Consequentemente, a gestão de resíduos baseada em bioenergia não é apenas uma alternativa tecnológica, mas uma abordagem sistêmica para enfrentar as alterações climáticas, a escassez de recursos e a necessidade urgente de desenvolvimento comunitário sustentável.

Materiais e Métodos

Para uma análise rigorosa da eficiência na utilização de resíduos orgânicos para bioenergia, é essencial categorizar a diversidade de fluxos de resíduos nos sistemas socioeconômicos contemporâneos. Os resíduos orgânicos não são homogêneos, apresentando propriedades físicas, químicas e biológicas distintas, que influenciam vias de conversão, eficiência da digestão anaeróbia e impactos ambientais. A classificação em categorias constitui um passo metodológico fundamental, permitindo avaliação sistemática, comparabilidade entre estudos e desenvolvimento de soluções tecnológicas adaptadas.

Os grupos de resíduos selecionados refletem a heterogeneidade da matéria orgânica gerada em múltiplos setores da atividade humana, incluindo domicílios, estabelecimentos urbanos de alimentação, sistemas de produção agrícola, plantas industriais de processamento e infraestrutura verde municipal. Os resíduos alimentares, por exemplo, têm alto teor de umidade e rápida biodegradabilidade, tornando-os adequados para digestão anaeróbia direta com pré-tratamento mínimo. Em contraste, resíduos agrícolas, como palha ou talos de culturas, contêm elevados níveis de compostos lignocelulósicos, exigindo pré-processamento adicional (por exemplo, fragmentação, tratamento hidrotermal ou co-digestão com matérias-primas mais degradáveis) para otimizar a produção de biogás. Subprodutos industriais, como lascas de madeira ou papelão, apresentam biodegradabilidade limitada isoladamente, mas podem contribuir significativamente para o potencial energético quando processados junto a efluentes líquidos que equilibram suas proporções carbono-nitrogênio. Resíduos verdes e de paisagismo, incluindo folhas, grama e podas de árvores, ocupam posição intermediária, servindo frequentemente como matéria-prima suplementar para estabilizar os processos de digestão.

Esta tipologia multissetorial destaca a natureza sistêmica da geração de resíduos orgânicos e sua conexão direta tanto com o metabolismo urbano quanto com os ciclos de produção rural. Ao reconhecer os resíduos não como um encargo ambiental isolado, mas como um componente integrado dos fluxos de materiais e energia, pesquisadores e profissionais podem projetar estratégias mais eficazes para a recuperação sustentável de recursos.

Esta seção apresenta uma estrutura para compreender os papéis dos diferentes resíduos orgânicos na produção de bioenergia, suas rotas de conversão e sua contribuição para a economia circular (Tabela 1).

Tabela 1. Categorias de Resíduos e Potencial de Bioenergia

Tipo de Resíduo	Fontes	Potencial de Utilização
Resíduos alimentares	Domicílios, restaurantes, indústrias de processamento de alimentos	Biogás, digestão anaeróbia
Resíduos agrícolas	Palha, resíduos de culturas, silagem	Biogás, digestão anaeróbia
Resíduos industriais	Resíduos de madeira, papelão, subprodutos da indústria madeireira	Biogás, digestão anaeróbia após umedecimento com efluentes
Resíduos verdes/paisagismo	Grama, folhas, podas de árvores	Biogás, digestão anaeróbia

Fonte: Desenvolvimento do autor

As categorias selecionadas abrangem fluxos de resíduos altamente degradáveis (por exemplo, alimentos e silagem) e frações de biomassa mais resistentes (por exemplo, materiais lignocelulósicos como palha e madeira). A utilização combinada

dessas frações nos sistemas de bioenergia permite uma abordagem integrada que maximiza a produção de energia, garantindo simultaneamente eficiência ecológica.

Tecnologias de Processamento de Resíduos

A conversão de resíduos orgânicos em energia renovável e subprodutos agrícolas é viabilizada por um conjunto de tecnologias consolidadas e emergentes:

- Sistemas de Cogeração (CHP) e Trigeração – Estes sistemas permitem a produção simultânea de eletricidade, calor e frio para consumo local, aumentando significativamente a eficiência energética global em comparação com sistemas tradicionais de produção única.
- Digestão Anaeróbia (Plantas de Biogás) – Este processo promove a decomposição microbiana da matéria orgânica em condições anaeróbicas, gerando biogás (principalmente metano e CO₂) e digestato, um subproduto rico em nutrientes. A integração da digestão anaeróbia com tecnologias de cogeração ou trigeração permite a conversão eficiente do biogás em múltiplas formas de energia, ao mesmo tempo em que fecha os ciclos de nutrientes [5].
- Benefícios Ambientais – O efeito ambiental é obtido através da substituição de combustíveis fósseis, da redução das emissões de metano e dióxido de carbono provenientes da decomposição descontrolada e da produção de fertilizantes orgânicos capazes de substituir agroquímicos sintéticos em sistemas de agricultura orgânica.

O ciclo tecnológico de transformação de resíduos em energia pode ser representado esquematicamente da seguinte forma (Figura 1):

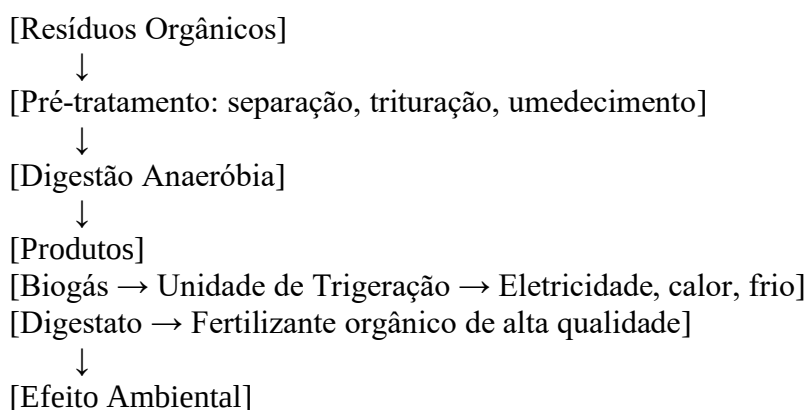


Figura 1. Representação Esquemática da Cadeia Resíduos → Bioenergia e Benefícios Ambientais
Fonte: Desenvolvimento do autor

Esta via de gestão de resíduos demonstra a cadeia conceitual “Resíduos → Digestão Anaeróbia → Trigeração → Efeito Ambiental”, que serve como estrutura para o manejo sustentável de recursos em comunidades locais.

Fundamentação Ambiental

A gestão ambientalmente adequada de matérias-primas orgânicas assegura múltiplos benefícios ecológicos e socioeconômicos. O processo reduz significativamente as emissões de metano, que possuem um potencial de aquecimento global aproximadamente 28 vezes superior ao do CO₂. Ao desviar resíduos de aterros sanitários, alivia a pressão sobre os sistemas municipais de gestão de resíduos, prolonga a vida útil dos aterros e reduz o risco de contaminação por lixiviados. Além disso, a utilização do digestato como fertilizante aumenta o teor de matéria orgânica do solo, melhora a retenção de água e promove a biodiversidade, reforçando assim os princípios da agricultura sustentável e da economia circular.

Avaliação do Potencial Energético

Para avaliar a energia líquida potencial que pode ser recuperada de resíduos orgânicos, emprega-se um modelo quantitativo. A energia líquida (E_{net}) é calculada de acordo com a Fórmula (1):

$$E_{net} = \sum_{i=1}^n W_i CV_i \eta_{biogas} (1 - MC_i) \quad (1)$$

Onde:

E_{net} - Energia líquida recuperável a partir de resíduos (kWh);

i - Tipo de resíduo (alimentar, agrícola, industrial, verde);

W_i - Massa do tipo de resíduo i (toneladas);

CV_i - Valor calorífico do tipo de resíduo i (kWh/t);

η_{biogas} - Eficiência de conversão do biogás em eletricidade, calor ou frio;

MC_i - Teor de umidade do tipo de resíduo i (fração, 0–1)

Fonte: Desenvolvimento do autor

Esta abordagem metodológica permite a avaliação comparativa das diferentes categorias de resíduos em termos de seu potencial energético, considerando a variabilidade dos níveis de umidade, do conteúdo calórico e da eficiência de conversão tecnológica [6, 7, 8]. O modelo fornece uma base robusta para otimizar a seleção de matérias-primas e projetar plantas comunitárias de bioenergia que estejam alinhadas com os objetivos de desenvolvimento sustentável.

Recomendações Práticas para Comunidades

A implementação de iniciativas de bioenergia em nível comunitário requer não apenas inovação tecnológica, mas também uma abordagem que integre infraestrutura, otimização de recursos e engajamento da população. Com base em pesquisas recentes e práticas aplicadas, podem ser propostas recomendações para municípios, empreendimentos agrícolas e comunidades que queiram adotar a bioenergia como parte de suas estratégias de desenvolvimento sustentável.

- Implementação de Módulos Locais de Biogás

Plantas de biogás de pequeno e médio porte são uma solução viável e adaptável para bairros residenciais, empreendimentos agrícolas e instalações municipais. Esses sistemas modulares permitem instalação no local de geração de resíduos, reduzindo custos e impactos ambientais do transporte. Além disso, unidades descentralizadas de biogás aumentam a independência energética local ao produzir energia renovável próxima ao consumo, apoiando a resiliência em períodos de insegurança ou interrupção no fornecimento.

- Umedecimento de Fluxos de Resíduos Secos

Um dos desafios da produção de bioenergia, especialmente a partir de resíduos agrícolas ou subprodutos industriais, é o baixo teor de umidade. Para otimizar a digestão anaeróbia, recomenda-se usar águas residuais tratadas de estações municipais para ajustar o balanço hídrico da matéria-prima. Essa abordagem melhora a biodegradabilidade das frações de resíduos secos e contribui para a purificação parcial e reutilização das águas residuais, promovendo a gestão integrada de recursos e a economia circular.

- Integração com Sistemas de Trigeração

A co-utilização do biogás em sistemas combinados de calor, energia elétrica e frio (CHP/trigeração) aumenta a eficiência energética global dos projetos de bioenergia. Comunidades podem integrar unidades de trigeração baseadas em biogás em escolas, hospitais, edifícios administrativos e centros culturais. Ao fornecer eletricidade, aquecimento e resfriamento a partir de uma única fonte renovável, tais sistemas reduzem a dependência de combustíveis fósseis, estabilizam os custos energéticos e ajudam a mitigar as alterações climáticas ao diminuir as emissões de gases de efeito estufa.

- Produção de Fertilizantes Orgânicos

O digestato gerado como subproduto da digestão anaeróbia é rico em nutrientes e pode ser usado na agricultura orgânica, recuperação do solo e paisagismo urbano. Quando bem processado, melhora a estrutura do solo, aumenta a atividade microbiana e repõe nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio. Comunidades podem aproveitar esse recurso em áreas agrícolas ou na arborização de espaços públicos, parques e terrenos degradados, conectando projetos de bioenergia a benefícios ambientais e sociais.

- Triagem e Pré-Tratamento de Resíduos

A triagem eficaz e o pré-tratamento mecânico ou biológico de resíduos orgânicos antes da digestão aumentam significativamente a eficiência e a confiabilidade do processo. Ao remover contaminantes como plásticos, metais ou substâncias perigosas, minimiza-se o risco de falhas no sistema e melhora-se a qualidade dos produtos finais — biogás e digestato. Portanto, estabelecer

sistemas de separação de resíduos em níveis doméstico e municipal é um pré-requisito crítico para o sucesso de iniciativas de bioenergia.

- Medidas Educacionais e de Comunicação

Soluções técnicas isoladas não garantem a sustentabilidade de projetos comunitários de bioenergia. É igualmente importante engajar os moradores por meio de esforços contínuos de educação e comunicação. Devem ser organizados programas de capacitação, campanhas públicas e workshops para aumentar a conscientização sobre os benefícios da bioenergia, a importância da triagem de resíduos e o papel mais amplo das energias renováveis no desenvolvimento sustentável. A participação da comunidade não apenas aumenta a eficiência da coleta e do processamento de resíduos, mas também promove aceitação social e apoio de longo prazo à infraestrutura de bioenergia.

Em conjunto, essas recomendações demonstram que a adoção da bioenergia nas comunidades não se limita à introdução de novas tecnologias, mas constitui um processo holístico que combina dimensões técnicas, ambientais, econômicas e sociais. Ao implementar estratégias localizadas e integradas, os municípios podem reduzir a pressão ecológica, promover o uso de energia renovável e aumentar a resiliência de suas populações na transição para um futuro de baixo carbono.

Justificação:

O enquadramento metodológico para avaliar o potencial energético de resíduos orgânicos baseia-se em princípios inter-relacionados que garantem precisão científica, comparabilidade e aplicabilidade prática dos resultados. Uma justificação rigorosa das variáveis do modelo de cálculo é essencial para assegurar a fiabilidade das previsões energéticas e a validade das decisões subsequentes de política ou investimento. As seguintes considerações constituem a base da abordagem analítica:

- Soma entre Categorias de Resíduos

A agregação de dados entre múltiplos tipos de resíduos orgânicos é crucial, pois diferentes fluxos de resíduos apresentam características físicas e químicas distintas. Ao somar as contribuições de resíduos alimentares, subprodutos agrícolas, biomassa industrial e resíduos verdes, o modelo capta a heterogeneidade da disponibilidade de matéria-prima dentro de uma comunidade ou região específica. Esta abordagem assegura que o potencial energético calculado reflita a realidade composta da geração de resíduos, em vez de se concentrar exclusivamente num único substrato. Deste modo, a metodologia alinha-se com o pensamento sistémico e os princípios da economia circular, reconhecendo que a interação entre diversas categorias de resíduos frequentemente aumenta a eficiência global através de processos de co-digestão.

- Massa de Resíduos como Determinante do Potencial Energético

A disponibilidade quantitativa de resíduos orgânicos (em toneladas ou quilogramas) influencia diretamente a escala de produção energética. Mesmo quando uma categoria de resíduos apresenta valor calórico relativamente baixo, um volume suficiente pode torná-la relevante para o balanço energético de bioenergia. Por outro lado, resíduos de alta densidade energética podem ter impacto limitado se a sua massa for insignificante localmente. Por isso, a recolha precisa de dados sobre volumes de geração de resíduos — domésticos, municipais e industriais — é indispensável para um planeamento energético realista e para dimensionar a capacidade de instalações de biogás.

- Valor Calorífico e Coeficientes de Eficiência

O potencial energético intrínseco dos materiais residuais — quantificado pelo seu valor calorífico — serve como indicador da sua adequação para a recuperação de energia. Quando considerado juntamente com a eficiência tecnológica da conversão de biogás, determina o rendimento energético líquido possível num dado sistema. Estes parâmetros são normalmente definidos com base em normas técnicas reconhecidas, medições laboratoriais e dados de investigação revisados por pares. Os coeficientes de eficiência refletem a proporção da energia química no substrato que pode ser efetivamente capturada e convertida em eletricidade, calor ou frio utilizáveis. Assim, a avaliação conjunta do valor calorífico e da eficiência de conversão estabelece uma ponte entre o potencial energético teórico e os resultados práticos e mensuráveis.

- Correção pelo Teor de Humidade

O teor de humidade representa um fator de correção crítico, uma vez que uma parte da massa total dos resíduos orgânicos consiste em água, a qual não contribui para a geração de energia. Um elevado teor de água reduz o valor calorífico efetivo do substrato, diminuindo a energia que pode ser extraída durante a digestão anaeróbica ou combustão. Ao incorporar o ajuste de humidade no cálculo, o modelo distingue entre biomassa produtiva e massa inerte, oferecendo uma representação mais precisa do potencial energético líquido. Além disso, esta correção ajuda a identificar categorias de matéria-prima que podem requerer pré-tratamento, como desidratação ou mistura com materiais mais secos, para melhorar a estabilidade do processo e a recuperação de energia.

Resultados

A avaliação do potencial de bioenergia de diferentes resíduos orgânicos oferece uma base para analisar as vantagens ambientais e económicas de sistemas descentralizados. Os resultados, provenientes de estudos, diretrizes técnicas e experiências práticas em contextos regionais, destacam tanto a geração de energia quanto os benefícios ambientais e socioeconómicos do uso circular desses recursos.

- Potencial de energia por tonelada métrica de resíduos orgânicos:

- Resíduos alimentares: aproximadamente 100–150 kWh de eletricidade e 300–400 kWh de energia térmica. Este rendimento relativamente moderado reflete o elevado teor de humidade e o valor calórico variável dos resíduos alimentares. No entanto, dada a geração constante e em grande volume nas comunidades urbanas e periurbanas, os resíduos alimentares representam uma fonte de energia estável e previsível quando processados através de sistemas de digestão anaeróbia ou co-digestão.
- Palha e resíduos agrícolas: aproximadamente 150–200 kWh de eletricidade e 400–500 kWh de energia térmica. Os subprodutos agrícolas demonstram maior eficiência energética devido ao seu conteúdo mais estável de matéria seca e ao valor calórico consistente. A sua utilização em sistemas de biogás ou biomassa contribui também para reduzir a queima a céu aberto, que constitui uma importante fonte de emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos locais.
- Resíduos de origem lenhosa: aproximadamente 200–250 kWh de eletricidade e 500–600 kWh de energia térmica. A biomassa lenhosa apresenta o maior potencial energético por tonelada devido ao seu elevado valor calórico e menor teor de humidade. Embora exija etapas específicas de pré-processamento, como trituração ou peletização, a sua integração em sistemas de cogeração (CHP) assegura uma conversão de energia estável e altamente eficiente.
- Redução das emissões de metano (CH_4) e CO_2 em comparação com a deposição convencional em aterros:
 - Avaliações científicas indicam que a implementação de sistemas de conversão de resíduos em energia pode alcançar uma redução de até 60–70% nas emissões de metano e dióxido de carbono em relação às práticas tradicionais de aterro [1]. Isto é particularmente relevante dado o potencial de aquecimento global (GWP) muito superior do metano em comparação com o dióxido de carbono. Ao desviar resíduos biodegradáveis da decomposição anaeróbia não controlada em aterros, os sistemas de bioenergia contribuem efetivamente para os compromissos nacionais nos acordos climáticos internacionais, incluindo o Acordo de Paris.
- Impacto económico e eficiência de recursos:
 - As vantagens económicas dos sistemas de bioenergia em escala comunitária vão além da substituição de combustíveis fósseis. A implementação de tecnologias de conversão de resíduos em energia permite que os municípios reduzam significativamente os gastos com disposição de resíduos, especialmente em regiões onde os impostos sobre aterros, transporte de resíduos e manutenção de aterros representam um ônus financeiro

considerável. Adicionalmente, os sistemas de bioenergia criam oportunidades de geração de receita por meio da venda de eletricidade renovável, fornecimento de calor para redes locais ou sistemas de aquecimento distrital e comercialização do digestato como fertilizante orgânico adequado para agricultura sustentável, paisagismo e projetos de restauração do solo.

- Benefícios sistêmicos mais amplos:

- Para além das considerações diretas de energia e custo, a implantação de bioenergia promove a autossuficiência energética a nível local, aumentando a resiliência em comunidades sujeitas a insegurança energética ou interrupções no fornecimento centralizado. Apoia também a criação de empregos na instalação, operação e manutenção de instalações de bioenergia, estimulando o desenvolvimento económico regional. Além disso, ao alinhar-se com os princípios da economia circular, tais sistemas fortalecem a gestão ambiental, reduzem a dependência de recursos não renováveis e promovem a aceitação social de práticas sustentáveis.

Em conjunto, estes resultados destacam a lógica ambiental e económica dupla para o avanço de sistemas de bioenergia em escala comunitária. Eles também evidenciam a importância de integrar estudos de viabilidade técnica com medidas políticas que incentivem a transição sustentável de resíduos em energia.

Discussão

O uso do biogás como fonte de energia renovável tem demonstrado elevada eficiência, especialmente para resíduos orgânicos húmidos, tais como restos alimentares, subprodutos de frutas e hortaliças e certos resíduos agrícolas (silagem, esterco). Estes substratos são favoráveis à digestão anaeróbia devido ao elevado teor de humidade, rápida biodegradabilidade e relativa homogeneidade, o que potencializa a atividade microbiana e estabiliza a produção de biogás. A digestão anaeróbia envolve microrganismos hidrolíticos, acidogénicos, acetogénicos e metanogénicos, gerando metano e CO₂.

A otimização da composição do substrato é crítica para maximizar o rendimento de metano e a estabilidade do sistema. Os parâmetros-chave incluem a relação carbono/nitrogénio (C/N), pH, temperatura e tempo de retenção hidráulica. Condições ótimas (C/N 20–30:1, pH 6,8–7,4, temperaturas mesofílicas 35–40 °C) favorecem a metanogénese, enquanto desvios podem reduzir a produção de gás.

Estudos práticos indicam variações no potencial de metano: resíduos alimentares domésticos e de restaurantes produzem aproximadamente 100–150 kWh de eletricidade por tonelada; silagem e esterco podem atingir até 200 kWh por tonelada. A mistura estratégica de diferentes resíduos húmidos estabiliza a digestão, aumenta a produção de metano em 20–30% e gera digestato de elevada qualidade, adequado para a agricultura orgânica.

Biomassa seca (palha, cavacos de madeira, resíduos industriais) requer ajuste de humidade para manter a atividade microbiana. A adição controlada de águas residuais tratadas ou efluentes de processo (70–85% de humidade) melhora a hidrólise e a geração de metano, transformando resíduos de baixo valor em energia renovável enquanto promove o tratamento parcial de águas residuais.

Módulos locais de bioenergia permitem a produção descentralizada de eletricidade, calor e frio, reduzindo custos de transporte e perdas energéticas. Unidades pequenas (50–200 kW) são adequadas para conjuntos residenciais e escolas; unidades médias (200–500 kW) atendem a instalações agrícolas ou municipais. A integração com sistemas de trigeração aumenta a eficiência global para cerca de 80%, comparativamente aos 35–45% da geração convencional.

O pré-tratamento — triagem, trituração e homogeneização — garante digestão anaeróbia estável e digestato de alta qualidade. A remoção de contaminantes, redução do tamanho das partículas e homogeneização do substrato melhoram a atividade microbiana, o rendimento de biogás e a consistência nutricional do digestato.

Sistemas descentralizados oferecem benefícios económicos e sociais: redução dos custos de gestão de resíduos, receita proveniente de eletricidade, calor e digestato, criação de empregos e aumento da independência energética comunitária. Programas educativos promovem maior envolvimento local, comportamentos sustentáveis e conhecimento dos princípios da economia circular.

A experiência internacional confirma a eficácia em contextos diversos (Alemanha, Dinamarca, Índia, Quênia, África do Sul). A integração de módulos de trigeração com redes inteligentes otimiza a distribuição de energia, aumenta a eficiência e flexibilidade, e suporta sistemas energéticos comunitários confiáveis, sustentáveis e adaptativos.

Em resumo, a utilização estratégica de resíduos orgânicos através da digestão anaeróbia, módulos locais de bioenergia e integração com redes inteligentes permite a produção de energia renovável, fertilizantes orgânicos e benefícios socioeconómicos, promovendo um desenvolvimento comunitário escalável, sustentável e resiliente.

Conclusões

A bioenergia na gestão de resíduos atua como um instrumento eficaz para a implementação dos princípios da economia circular ao nível comunitário. A integração da digestão anaeróbia com trigeração permite a produção simultânea de fertilizantes orgânicos e biogás, que podem ser convertidos em eletricidade, calor e frio. Esta funcionalidade dupla otimiza a utilização de recursos e transforma os resíduos numa fonte valiosa de energia e nutrientes, promovendo o desenvolvimento local sustentável.

Do ponto de vista ambiental, a digestão anaeróbia controlada reduz as emissões de metano e dióxido de carbono, mitiga os impactos climáticos e minimiza a utilização de aterros e os riscos de poluição. Do ponto de vista económico, os sistemas descentralizados de bioenergia reduzem os custos de gestão de resíduos, geram empregos verdes e promovem a reciclagem de nutrientes através da utilização do digestato como fertilizante orgânico, apoiando a agricultura sustentável.

Do ponto de vista social, unidades modulares de bioenergia e trigeração aumentam a independência energética e a resiliência das comunidades, ao mesmo tempo que fortalecem a consciência pública sobre práticas sustentáveis.

Perspetivando o futuro, a integração de soluções modulares de bioenergia com sistemas urbanos e agrícolas apresenta um caminho holístico para a proteção ambiental, estabilidade económica e inclusão social. Neste contexto, a bioenergia surge como um modelo escalável e replicável para o avanço dos objetivos da economia circular e para a construção de comunidades resilientes e autossuficientes.

Referências

1. Honcharuk, I. (2023). Bioenergy Recycling of Household Solid Waste as a Direction for Ensuring Sustainable Communities. EPJ.
2. UABIO. (2019). Prospects of Energy Utilisation of Municipal Solid Waste in Ukraine. Associação de Bioenergia da Ucrânia.
3. Kostenko, D. M. (2021). Justification of the Economic Feasibility of Solid Biofuel Production from Energy Crops in Ukraine. Kharkiv: Instituto de Desenvolvimento Económico Regional, NAS da Ucrânia.
4. Pimenov, S. (2025). Transforming Agriculture into Energy: Unlocking Ukraine's Bioenergy Potential. MDPI.
5. Weiland, P. (2010). Biogas Production: Current State and Perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(4), 849–860.
6. DBN V.2.5-23:2018. Redes Térmicas. Disposições Básicas. Kyiv: Ministério do Desenvolvimento Regional da Ucrânia, 2018.
7. DSTU EN 15359:2011. Combustível Sólido Recuperado. Especificação e Classes. Kyiv: Standard Estatal de Consumo da Ucrânia, 2011.
8. López, J., et al. (2020). Energy Potential from Organic Waste via Anaerobic Digestion and Gasification. Renewable Energy, 147, 1980–1992.

[JA_7]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

バイオエネルギーと廃棄物管理

概要

現代のコミュニティにおいて、有機廃棄物の管理は、持続可能な開発および環境ガバナンスの基本的柱を構成している。食品残渣、農業副産物、及び生分解性の都市廃棄物の効果的な処理戦略は、環境的懸念に対応するだけでなく、地域経済のレジリエンス向上にも寄与する。嫌気性消化法は最も有望な技術的解決策の一つとして注目されており、有機廃棄物を電力、熱、冷却といった再生可能エネルギーに転換することを可能にする。同時に、このプロセスにより高品質な有機肥料が生成され、農業システムに再投入されることで、栄養素の循環が閉じ、土壌肥沃度が向上する。

嫌気性消化の二重機能—エネルギー回収と栄養素のリサイクル—は、環境保護、エネルギー転換、循環型経済の実践の交差点に位置する。制御されない分解によるメタン排出の削減、化石燃料依存の低減、合成肥料の持続可能な代替手段の提供を通じて、この技術は気候変動緩和に貢献し、低炭素型開発の軌道を促進する。さらに、都市インフラへのバイオエネルギーシステムの統合は、エネルギー自給率の向上、廃棄物管理の効率化、革新およびグリーンジョブ創出の機会を促進する。したがって、有機廃棄物由来のバイオエネルギーは、単なる技術的進歩にとどまらず、持続可能な開発目標の達成と環境課題に直面するコミュニティのレジリエンス向上への戦略的な道筋でもある。

キーワード: バイオエネルギー、嫌気性消化、有機廃棄物管理、再生可能エネルギー、循環型経済、持続可能な開発、栄養素循環、低炭素転換はじめに

家庭、産業、農業における廃棄物の急速な増加は、21世紀の重要な環境課題の一つとなっている。この傾向は、埋立地、自然生態系、公衆衛生

への圧力を増大させるとともに、特にメタンや二酸化炭素などの温室効果ガス排出量の増加に寄与し、気候変動を加速させる [1,2]。制御されない廃棄物処理は、土壌や水質の劣化を引き起こすだけでなく、新たな土地資源への需要を増大させ、都市および農村の持続可能な発展に長期的リスクを生む。

この文脈において、バイオエネルギーは、有機廃棄物を環境保護と社会経済的安定を支える貴重な資源に変換する重要な戦略として浮上する。嫌気性消化やその他のバイオテクノロジー的アプローチを通じて、食品廃棄物、農業副産物、生分解性産業材料などの有機残渣は、電力、熱、冷却などの再生可能エネルギーに転換できる。同時に、これらのプロセスは栄養豊富なバイオ肥料を生成し、土壌肥沃度を高め、化学肥料への依存を軽減する [3,4]。

バイオエネルギーの適用は、材料が廃棄されるのではなく継続的に再利用されることを保証する循環型経済原則の実施に寄与する。このようなシステムは、埋立地に送られる廃棄物量を減少させ、排出されるはずのメタンを回収することで、環境負荷を軽減する。さらに、コミュニティインフラへのバイオエネルギー統合は、地域のエネルギー自立、低炭素型移行の支援、グリーンイノベーションの基盤構築を促進する。したがって、バイオエネルギーに基づく廃棄物管理は単なる技術的代替手段ではなく、気候変動、資源不足、持続可能なコミュニティ開発の喫緊の課題に対処するための体系的アプローチである。

材料および方法

有機廃棄物をバイオエネルギー利用する効率を科学的に評価し、包括的な分析を行うためには、まず現代の社会経済システムにおいて発生する多様な廃棄物の種類を分類することが不可欠である。有機廃棄物は均質な物質ではなく、その物理的、化学的、生物学的特性において多様な基質を含む。この多様性は、変換の潜在的経路、嫌気性消化の効率、および選択された技術の環境影響に大きく影響する。したがって、廃棄物を異なるカテゴリに分類することは、単なる記述的作業ではなく、体系的評価、研究間の比較可能性、および適応型技術ソリューションの開発を可能にする方法論的ステップである。

選定された廃棄物群は、家庭、都市の飲食施設、農業生産システム、産業加工施設、及び都市の緑地インフラなど、人間活動の複数のセクターで生成される有機物の多様性を反映している。例えば、食品廃棄物は一般的に水分含量が高く、分解速度が速いため、最小限の前処理で直接嫌気性

消化に適している。対照的に、藁や作物茎などの農業残渣はリグノセルロース化合物を多く含み、バイオガス収率を最適化するために、破碎、加水熱処理、またはより分解しやすい原料との共消化などの追加前処理が必要である。木片や段ボールなどの産業副産物は単独では生分解性が低い、液体排水と共処理することで炭素-窒素比を調整し、エネルギー潜在力を大幅に高めることができる。葉、草、樹木の剪定物などの緑地廃棄物は中間的な位置を占め、消化プロセスを安定化させる補助的原料として利用されることが多い。

この多セクター型分類は、有機廃棄物の生成が体系的であり、都市の代謝や農村の生産サイクルと直接的に結びついていることを強調している。廃棄物を孤立した環境負荷ではなく、物質およびエネルギーフローの統合要素として認識することで、研究者や実務者は持続可能な資源回収戦略をより効果的に設計できる。

本節では、さまざまな有機廃棄物がバイオエネルギー生産において果たす潜在的役割、その技術的変換経路、および循環型経済の原則への寄与を理解するための戦略的枠組みを示す（表1）。

表1. 廃棄物の分類とバイオエネルギー潜在力

廃棄物の種類	発生源	利用可能性
食品廃棄物	家庭、レストラン、食品加工企業	バイオガス、嫌気性消化
農業廃棄物	藁、作物残渣、サイレージ	バイオガス、嫌気性消化
産業廃棄物	木材残渣、段ボール、木材産業副産物	液体排水で湿らせた後のバイオガス、嫌気性消化
緑地廃棄物	草、葉、樹木の剪定物	バイオガス、嫌気性消化

出典: 著者作成

選定されたカテゴリーには、高度に分解可能な廃棄物（食品廃棄物やサイレージ）と、より耐性のあるバイオマス（藁や木材などのリグノセルロース材料）が含まれる。これらをバイオエネルギーシステム内で統合的に利用することで、エネルギー収率を最大化しつつ、環境効率を確保するアプローチが可能となる。

廃棄物処理技術

有機廃棄物を再生可能エネルギーおよび農業副産物に転換するためには、確立された技術と新興技術の組み合わせが用いられる。

- 熱電併給（CHP）およびトライジェネレーションシステム

これらのシステムは、電力、熱、および冷却を同時に地元で供給することを可能にし、従来の単一出力システムに比べて全体のエネルギー効率を大幅に向上させる。

- 嫌気性消化（バイオガスプラント）

このプロセスでは、酸素を欠く条件下で有機物を微生物により分解させ、バイオガス（主にメタンおよび二酸化炭素）と、栄養豊富な副産物である消化残渣を生成する。嫌気性消化をCHPまたはトリジェネレーション技術と統合することで、バイオガスを複数のエネルギー形態に効率的に変換し、栄養素循環を閉じることが可能である [5]。

- 環境的利点

環境効果は、化石燃料の代替、制御されない分解によるメタン・二酸化炭素排出の削減、有機農業システムにおける化学肥料の代替となる有機肥料の生産を通じて得られる。

廃棄物からエネルギーへの変換技術サイクルは、概略図として以下のように表される（図1）。

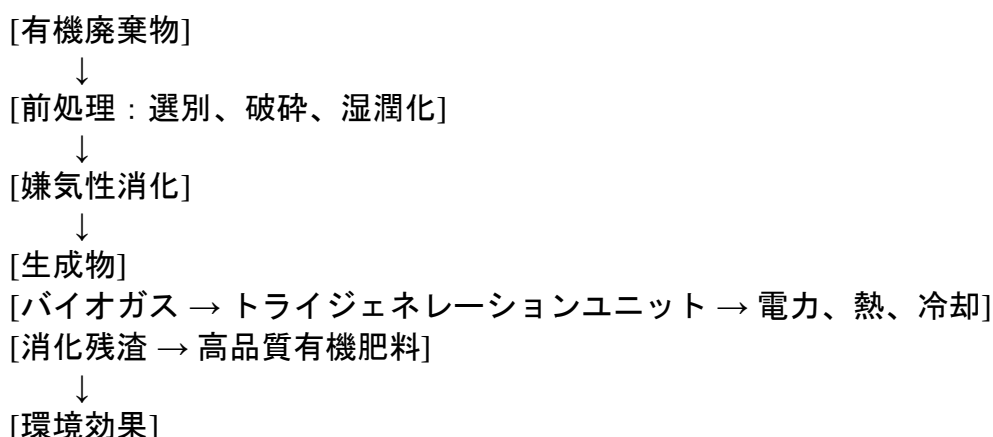


図1. 廃棄物からバイオエネルギーへの経路と環境効果の概略

出典: 著者作成

この廃棄物管理経路は、「廃棄物 → 嫌気性消化 → トリジェネレーション → 環境効果」というチェーンを示しており、地域社会における持続可能な資源管理の概念的枠組みとして機能する。

環境的根拠

有機原料の環境的に健全な管理は、複数の生態学的および社会経済的利益をもたらす。このプロセスは、CO₂の約28倍の地球温暖化係数を持つメタン排出量を大幅に削減する。廃棄物を埋立地から迂回させることで、自治体の廃棄物処理システムへの負荷を軽減し、埋立地の寿命を延ばし、

浸出水汚染リスクを低減する。さらに、消化残渣を肥料として使用することで、土壌有機物が増加し、水分保持力が向上し、生物多様性も促進され、持続可能な農業および循環型経済の原則がさらに強化される。

エネルギー潜在力の評価

有機廃棄物から回収可能な純エネルギーの潜在力を評価するために、定量的モデルが用いられる。純エネルギー（ E_{net} ）は以下の式（1）に従って算出される：

$$E_{\text{net}} = \sum_{i=1}^n W_i CV_i \eta_{\text{biogas}} (1 - MC_i) \quad (1)$$

式中の記号：

E_{net} - 廃棄物から回収可能な純エネルギー（kWh）

i - 廃棄物の種類（食品、農業、産業、緑地）

W_i - 廃棄物 i の質量（トン）

CV_i - 廃棄物 i の発熱量（kWh/t）

η_{biogas} - バイオガスを電力、熱、または冷却に変換する効率

MC_i - 廃棄物 i の水分含量（比率、0-1）

出典: 著者作成

この方法論的アプローチにより、水分含量、発熱量、および技術的変換効率の変動を考慮しながら、異なる廃棄物カテゴリーのエネルギー潜在力を比較評価することが可能となる [6,7,8]。本モデルは、原料選択の最適化および持続可能な開発目標に沿った地域ベースのバイオエネルギープラント設計のための堅牢な枠組みを提供する。

コミュニティ向け実践的推奨事項

コミュニティレベルでのバイオエネルギー導入の成功には、技術革新だけでなく、インフラ整備、資源の最適化、住民の積極的関与を統合した包括的アプローチが必要である。現在の研究および実践に基づき、持続可能な開発戦略の一環としてバイオエネルギーを導入しようとする自治体、農業事業体、地域コミュニティに向けて、以下の実践的推奨事項が提案される。

1. ローカルバイオガスモジュールの導入

中小規模のバイオガスプラントは、住宅地、農業事業体、自治体施設に適した実行可能かつ柔軟なソリューションである。これらのモジュール式システムは、廃棄物発生現場に直接設置可能であり、廃棄物輸送に伴うコストや環境負荷を削減する利点がある。また、分散型

バイオガスユニットは、消費地点近くで再生可能エネルギーを生成することで、地域のエネルギー自立性を高め、エネルギー供給の不安定時や供給途絶時の回復力向上に寄与する。

2. 乾燥廃棄物の湿潤化

特に農業残渣や工業副産物からのバイオエネルギー生産における課題の一つは、水分含有量が低いことである。嫌気性消化プロセスの最適化のためには、自治体の下水処理場からの処理済み排水を使用し、原料の水分バランスを調整することが推奨される。このアプローチにより、乾燥廃棄物の生分解性が向上するとともに、排水の部分的浄化と再利用が可能となり、資源循環型社会および統合的資源管理の原則を促進する。

3. トリジェネレーションシステムとの統合

バイオガスを熱・電力・冷房を同時に供給するトリジェネレーション（CHP）システムで利用することにより、バイオエネルギープロジェクトの総合エネルギー効率が大幅に向上する。コミュニティは、学校、病院、行政施設、文化施設などの公共インフラにバイオガスベースのトリジェネレーションユニットを統合できる。このようなシステムは、単一の再生可能エネルギー源から電力・暖房・冷房を供給することで、化石燃料依存を低減し、地域のエネルギーコストを安定化させ、温室効果ガス排出削減による気候変動対策に寄与する。

4. 有機肥料の生産

嫌気性消化の副産物である消化液は、栄養豊富な資材であり、有機農業、土壌改良、都市緑化に活用可能である。適切に処理された消化液は、土壌構造を改善し、微生物活動を促進し、窒素、リン、カリウムなどの必須栄養素を補充する。コミュニティは、この資源を農地だけでなく、公園や劣化地の緑化にも活用でき、バイオエネルギープロジェクトと広範な環境・社会的利益を結びつけることができる。

5. 廃棄物の分別および前処理

有機廃棄物を消化前に効果的に分別し、機械的または生物学的に前処理することで、プロセスの効率と信頼性が大幅に向上する。プラスチック、金属、有害物質などの汚染物を除去することで、システムの故障リスクを最小化し、最終生成物（バイオガスおよび消化液）の品質を向上させることができる。家庭および自治体レベルで廃棄物分別システムを整備することは、バイオエネルギー導入成功の重要前提である。

6. 教育およびコミュニケーション施策

技術的解決策だけでは、コミュニティベースのバイオエネルギープロジェクトの持続可能性を確保できない。住民を対象とした継続的な教育および情報発信活動も同様に重要である。研修プログラム、広報キャンペーン、ワークショップを実施し、バイオエネルギーの利点、廃棄物分別の重要性、持続可能な開発における再生可能エネルギーの役割に関する認識を高めるべきである。住民参加は、廃棄物収集・処理の効率向上だけでなく、社会的受容性の向上およびバイオエネルギーインフラの長期的支援を促進する。

総括すると、コミュニティにおけるバイオエネルギー導入は、単に新技術の導入にとどまらず、技術的、環境的、経済的、社会的側面を統合した包括的プロセスであることが示される。地域に適した統合的戦略を実施することで、自治体は生態的負荷を低減し、再生可能エネルギー利用を促進し、低炭素社会への移行における住民の回復力を強化できる。

正当化

有機廃棄物のエネルギー潜在力を評価するための方法論的枠組みは、科学的正確性、比較可能性、および結果の実践的適用性を確保するいくつかの相互関連する原則に基づいている。計算モデルで使用される変数の厳密な正当化は、エネルギー予測の信頼性と、後続の政策決定や投資判断の妥当性を確立するために不可欠である。以下の考慮事項が分析アプローチの基礎を構成する。

1. 廃棄物カテゴリー間の集計

異なるタイプの有機廃棄物のデータを集計することは重要である。なぜなら、廃棄物の流れごとに物理的および化学的特性が異なるためである。食品残渣、農業副産物、工業バイオマス、緑色廃棄物の寄与を合計することにより、モデルは特定の地域やコミュニティ内での原料の異質性を反映する。このアプローチにより、算定されるエネルギー潜在力は単一の基質に限定されるのではなく、廃棄物生成の複合的現実を反映することができる。したがって、この方法論はシステム思考および循環型経済の原則と整合しており、多様な廃棄物カテゴリー間の相互作用が共消化プロセスを通じて全体効率を向上させることを認識している。

2. エネルギー潜在力を決定する廃棄物の質量

有機廃棄物の定量的な入手可能性（トンまたはキログラムで測定）は、エネルギー生産の規模に直接影響する。たとえある廃棄物カテ

ゴリーが比較的低い発熱量を有していても、十分な量があればバイオエネルギーバランスへの重要な寄与となる可能性がある。逆に、高エネルギー密度の残渣であっても、その質量が地域的にわずかであれば影響は限定的である。このため、家庭、自治体、産業レベルでの廃棄物発生量に関する正確なデータ収集は、現実的なエネルギー計画およびバイオガスプラントの能力設計に不可欠である。

3. 発熱量および効率係数

廃棄物材料の内在的なエネルギー潜在力は、発熱量によって定量化され、エネルギー回収の適性を示す基本指標である。これをバイオガス変換の技術効率と組み合わせることで、特定のシステム内で達成可能な正味エネルギー収量が決定される。これらのパラメータは、通常、国際的に認められた技術基準、実験室での実証測定、および査読済み研究データに基づいて設定される。関連する効率係数は、基質中の化学エネルギーのうち、実際に電力、熱、冷却に変換可能な割合を反映する。このように、発熱量と変換効率の評価は、理論的エネルギー潜在力と実践的・測定可能なエネルギー成果との間の重要な橋渡しとなる。

4. 水分含有量による補正

水分含有量は重要な補正因子である。有機廃棄物の総質量の一部は水で構成され、エネルギー生成に寄与しないためである。高水分は基質の有効発熱量を低下させ、嫌気性消化や燃焼によって得られるエネルギーを減少させる。計算に水分補正を組み込むことで、モデルは生産性のあるバイオマスと不活性質量を区別し、正味エネルギー潜在力をより正確に表現することができる。さらに、この補正は、脱水や乾燥材料との混合など、プロセス安定性とエネルギー回収を向上させるために前処理が必要な原料カテゴリーを特定するのに役立つ。

結果

さまざまなカテゴリーの有機廃棄物から得られるバイオエネルギー潜在力の評価は、分散型バイオエネルギーシステムの導入に伴う環境的および経済的利点を定量的に評価する基盤を提供する。以下の結果は、既存の研究、技術ガイドライン、および比較可能な地域コンテキストにおける実践的導入事例に基づいている。これらの結果は、エネルギー生成の規模だけでなく、廃棄物資源の循環利用に関連する広範な環境的および社会経済的利益も強調している。

1. 有機廃棄物1メートルトン当たりの潜在エネルギー収量

- 食品廃棄物: 約100～150 kWhの電力および300～400 kWhの熱エネルギー。比較的中程度の出力は、食品残渣の高い水分含量および可変的な発熱量を反映している。それでも、都市部および周辺都市コミュニティで生成される安定かつ大量の廃棄物を考慮すると、食品廃棄物は嫌気性消化や共消化システムを通じて処理する場合、安定的で予測可能なエネルギー源となる。
- 藁および農業残渣: 約150～200 kWhの電力および400～500 kWhの熱エネルギー。農業副産物は、乾物含量および発熱量が比較的安定しているため、高いエネルギー効率を示す。バイオガスまたはバイオマスシステムでの利用は、温室効果ガス排出や地域大気汚染の主要原因である野焼きの削減にも寄与する。
- 木質系残渣: 約200～250 kWhの電力および500～600 kWhの熱エネルギー。木質バイオマスは、発熱量が高く水分含量が低いため、トン当たりのエネルギー潜在力が最も高い。チップングやペレット化など特定の前処理を必要とするが、熱電併給（CHP）システムへの統合により、安定した高効率のエネルギー変換が可能となる。

2. 従来型埋立処理に対するメタンおよびCO₂排出削減

科学的評価によれば、廃棄物エネルギー化システムの導入により、従来型埋立処理に比べてメタン（CH₄）および二酸化炭素（CO₂）排出量を最大60～70%削減できることが示されている [1]。これは、メタンの地球温暖化係数（GWP）が二酸化炭素よりもはるかに高いことを考慮すると特に重要である。生分解性廃棄物を埋立地での無制御嫌気性分解から逸脱させることで、バイオエネルギーシステムは、パリ協定を含む国際的気候協定に基づく国家的義務への実質的な貢献を果たす。

3. 経済的影響および資源効率

コミュニティ規模のバイオエネルギーシステムの経済的利点は、化石燃料の代替にとどまらない。廃棄物エネルギー化技術の導入により、自治体は廃棄物処理費用を大幅に削減できる。特に、埋立税、廃棄物輸送費、埋立地維持費が財政的負担となる地域では顕著である。さらに、バイオエネルギーシステムは、再生可能電力の販売、地域熱供給または地域暖房システムへの熱供給、有機肥料としての消化液の販売などによる収益創出の機会も提供する。これにより、持続可能な農業、造園、土壌回復プロジェクトへの資源利用も可能となる。

4. 広範なシステムの利益

直接的なエネルギーおよびコストの考慮を超えて、バイオエネルギー導入は地域レベルでのエネルギー自給を促進し、エネルギー供給の不安定や集中型供給システムの中断に直面するコミュニティの回復力を高める。また、バイオエネルギー施設の設置、運用、保守に関連する雇用創出を支援し、地域経済の発展を刺激する。さらに、循環型経済の原則と整合することで、環境保全を強化し、非再生可能資源への依存を減らし、持続可能な実践への社会的受容を促進する。

総括すると、これらの結果は、コミュニティ規模のバイオエネルギーシステムの推進における環境的および経済的合理性を二重に強調するものである。また、技術的実現可能性の評価と持続可能な廃棄物エネルギー転換を促進する政策措置を統合する重要性も示している。

考察

バイオガスの再生可能エネルギー源としての利用は、特に食品残渣、果物・野菜の副産物、一部の農業残渣（サイレージ、家畜排泄物）などの湿性有機廃棄物において非常に効率的であることが示されている。これらの基質は高い水分含量、迅速な生分解性、比較的均質な性質を有するため、嫌気性消化に適しており、微生物活性を促進し、バイオガス生産を安定化させる。嫌気性消化プロセスでは、加水分解性菌、酸生成菌、酢酸生成菌、メタン生成菌が関与し、メタンおよびCO₂を生成する。

基質組成の最適化は、メタン生成量およびシステム安定性の最大化に不可欠である。主要なパラメータには、炭素対窒素比（C/N比）、pH、温度、液体滞留時間が含まれる。最適条件（C/N比20–30:1、pH 6.8–7.4、中温域35–40℃）はメタン生成を促進し、条件逸脱はガス生成量の低下を引き起こす可能性がある。

実践的研究によると、メタン潜在量には変動がある。家庭および飲食店の食品廃棄物は1トンあたり約100～150 kWhの電力を生成し、サイレージや家畜排泄物では最大200 kWh/トンに達する場合がある。異なる湿性廃棄物の戦略的混合により、消化プロセスが安定化し、メタン生成量が20～30%増加し、有機農業に適した高品質の消化液を生産できる。

乾性バイオマス（藁、木材チップ、工業残渣）は、微生物活性を維持するために水分調整が必要である。処理済み排水や工程排水（70～85%水分）の制御された添加により加水分解とメタン生成が促進され、低価値残渣を再生可能エネルギーに変換すると同時に排水の部分処理も可能となる。

。

地域バイオエネルギーモジュールは、電力、熱、および冷却の分散型生産を可能にし、輸送コストとエネルギー損失を削減する。小規模ユニット（50～200 kW）は住宅団地や学校に適し、中規模ユニット（200～500 kW）は農業施設や自治体施設に対応可能である。トリジェネレーションシステムとの統合により、従来型発電（35～45%）に比べ、総合効率を約80%まで向上させることができる。

前処理（分別、粉碎、均質化）は、安定した嫌気性消化と高品質の消化液生成を保証する。汚染物の除去、粒径の縮小、基質の均質化により、微生物活性、バイオガス生成量、および消化液中の栄養素の均一性が向上する。

分散型システムは、廃棄物管理コストの削減、電力・熱・消化液からの収益創出、雇用創出、地域のエネルギー自立性向上などの経済的および社会的利益を提供する。教育プログラムは、地域住民の関与、持続可能な行動、循環型経済の原則に関する知識の向上を促進する。

国際的な事例（ドイツ、デンマーク、インド、ケニア、南アフリカ）は、多様な環境下での有効性を確認している。スマートグリッドとトリジェネレーションモジュールの統合により、エネルギー分配が最適化され、効率と柔軟性が向上し、信頼性が高く持続可能で適応力のあるコミュニティエネルギーシステムを支援する。

総括すると、嫌気性消化、地域バイオエネルギーモジュール、およびスマートグリッド統合を通じた有機廃棄物の戦略的利用は、再生可能エネルギーの生産、有機肥料の供給、社会経済的利益の創出を可能にし、スケラブルで持続可能、かつ回復力のあるコミュニティ開発を促進する。

結論

廃棄物管理におけるバイオエネルギーは、コミュニティレベルで循環型経済の原則を実践するための有効な手段として機能する。嫌気性消化とトリジェネレーションの統合により、有機肥料とバイオガスを同時に生成でき、バイオガスは電力、熱、冷却に変換可能である。この二重機能により資源利用が最適化され、廃棄物は価値あるエネルギーおよび栄養源へと変換され、持続可能な地域開発を促進する。

環境面では、制御された嫌気性消化によりメタンおよび二酸化炭素排出が削減され、気候への影響が緩和されるとともに、埋立地の使用および汚染リスクが最小化される。経済面では、分散型バイオエネルギーシステムにより廃棄物管理コストが低減され、グリーンジョブが創出され、消化

液の有機肥料としての利用を通じた栄養循環が促進され、持続可能な農業を支援する。

社会面では、モジュール式バイオエネルギーおよびトリジェネレーションユニットにより、コミュニティのエネルギー自立性と回復力が向上するとともに、持続可能な実践に対する市民意識が強化される。

将来に向けて、モジュール型バイオエネルギーソリューションを都市および農業システムと統合することは、環境保護、経済的安定、社会的包摂への包括的な道筋を提供する。この文脈において、バイオエネルギーは、循環型経済の目標を推進し、回復力のある自立的コミュニティを構築するための、スケーラブルかつ再現可能なモデルとして位置付けられる。

参考文献

1. Honcharuk, I. (2023). Bioenergy Recycling of Household Solid Waste as a Direction for Ensuring Sustainable Communities. EPJ.
2. UABIO. (2019). Prospects of Energy Utilisation of Municipal Solid Waste in Ukraine. Bioenergy Association of Ukraine.
3. Kostenko, D. M. (2021). Justification of the Economic Feasibility of Solid Biofuel Production from Energy Crops in Ukraine. ハリコフ：ウクライナ国立科学アカデミー地域経済発展研究所.
4. Pimenov, S. (2025). Transforming Agriculture into Energy: Unlocking Ukraine's Bioenergy Potential. MDPI.
5. Weiland, P. (2010). Biogas Production: Current State and Perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(4), 849–860.
6. DBN V.2.5-23:2018. Thermal Networks. Basic Provisions. キーウ：ウクライナ地域開発省, 2018.
7. DSTU EN 15359:2011. Solid Recovered Fuel. Specification and Classes. キーウ：ウクライナ国家消費者標準, 2011.
8. López, J., et al. (2020). Energy Potential from Organic Waste via Anaerobic Digestion and Gasification. Renewable Energy, 147, 1980–1992.

Блок 6_Юридичні та правові аспекти

Block 6_Legal and Regulatory Aspects

Блок присвячено аналізу правових механізмів захисту прав людини, регулювання конфліктів і запобігання домашньому насильству. Основна увага зосереджується на вивченні правозастосовної практики, взаємодії між судовими, соціальними та психологічними інституціями, а також на питаннях доступу до правосуддя та соціальної підтримки постраждалих осіб.

This block focuses on the analysis of legal mechanisms for protecting human rights, regulating conflicts, and preventing domestic violence. It emphasizes the study of law enforcement practices, the interaction between judicial, social, and psychological institutions, and issues related to access to justice and social support for affected individuals.

Особливу роль відіграє розгляд механізмів медіації та відновного правосуддя, які сприяють мирному врегулюванню конфліктів і реінтеграції сторін. Аналізується ефективність міжвідомчої співпраці та нормативних змін, спрямованих на удосконалення системи реагування на випадки насильства в сім'ї.

A special emphasis is placed on mediation and restorative justice mechanisms that promote peaceful conflict resolution and the reintegration of parties. The block analyzes the effectiveness of interagency cooperation and regulatory reforms aimed at improving the system's response to cases of domestic violence.

Завершальний аспект охоплює етичні, психологічні та соціальні наслідки юридичних рішень у таких справах. Розглядаються питання відповідальності, реабілітації, запобігання повторним правопорушенням і відновлення довіри між учасниками конфлікту, що формує підґрунтя для сталого суспільного розвитку.

The final aspect examines the ethical, psychological, and social consequences of legal decisions in such cases. It discusses issues of accountability, rehabilitation, prevention of recidivism, and the restoration of trust between conflict participants, forming a foundation for sustainable social development.

[UA_8]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Побутові конфлікти й кваліфікація домашнього насильства

Анотація

У сучасній адміністративно-правовій практиці України особливого значення набуває виявлення типових процесуальних помилок, що виникають під час складання протоколів про адміністративні правопорушення та розгляду відповідних справ у судах [1, 2]. Аналіз конкретних кейсів дозволяє формувати практичні рекомендації для вдосконалення роботи правоохоронних органів, судів та системи безоплатної правової допомоги [3].

У цій статті розглянуто приклад адміністративного провадження, пов'язаного зі звинуваченням у вчиненні домашнього насильства, який демонструє низку проблемних аспектів. Юридичний аналіз індивідуальних кейсів у сфері адміністративного права дозволяє виявити не лише процесуальні особливості, але й міждисциплінарні аспекти, що стосуються медицини, соціального захисту та захисту прав людини. У цій статті розглядається приклад адміністративного провадження, пов'язаного зі звинуваченням у вчиненні домашнього насильства, що демонструє низку проблемних аспектів у процесуальному та доказовому забезпеченні справи [4, 5]. Юридичний аналіз індивідуальних кейсів у сфері адміністративного права дозволяє виявити не лише процесуальні особливості, але й міждисциплінарні аспекти, що стосуються медицини, соціального захисту та захисту прав людини [6].

У дослідженні проаналізовано матеріали судового кейсу, що стосуються обвинувачення у вчиненні домашнього насильства, а також правової оцінки наданих письмових пояснень і документів, що свідчать про стан здоров'я та соціальні умови учасників конфлікту.

Ключові слова: побутовий конфлікт, домашнє насильство, юридична оцінка, правова оцінка, судова практика, документування, захист прав людини, міжнародний досвід, Україна.

Вступ

Проблематика конфліктів і насильства у сучасному суспільстві має багатогранний соціальний, психологічний та правовий вимір. Вона безпосередньо впливає на стабільність сімейних відносин, соціальну безпеку та ефективність правозастосування [2, 3]. Особливої уваги набуває диференціація між побутовими конфліктами та випадками домашнього насильства, оскільки кожен із цих феноменів потребує специфічного юридичного підходу, процедурного регулювання та соціальної реакції [1, 4].

Побутовий конфлікт визначається як ситуація, що виникає внаслідок розбіжностей інтересів, емоційних напружень або культурних відмінностей між членами сім'ї, сусідами чи іншими соціальними групами. Такі конфлікти, як правило, не включають систематичного приниження, контролю або загрози життю, а врегульовуються переважно цивільно-правовими або адміністративними механізмами, зокрема шляхом медіації, залучення соціальних служб або консультацій психологів [6, 7].

Домашнє насильство, у свою чергу, є системним і повторюваним явищем, що охоплює фізичне, психологічне, економічне та сексуальне насильство, спрямоване на контроль, примус чи підкорення іншої особи.

Проблема відмежування побутових конфліктів від домашнього насильства залишається однією з найбільш дискусійних у сучасній українській правозастосовній практиці. Часто звичайні сімейні непорозуміння кваліфікуються як адміністративні правопорушення, попри відсутність ознак фізичного або психологічного насильства. Така практика створює ризики порушення принципу пропорційності, підриває довіру до інституту правового захисту від насильства і призводить до дискредитації поняття домашнього насильства, що має суттєве значення для правової системи та соціальної політики держави [1, 5].

Аналітична частина

1. Правове трактування та судова практика

В українському законодавстві питання домашнього насильства врегульовано комплексно.

Натомість побутові конфлікти не завжди підпадають під визначення домашнього насильства. Вони зазвичай є наслідком розбіжностей у поглядах, емоційних реакцій або побутових непорозумінь між членами сім'ї, родичами чи сусідами. Такі ситуації регулюються переважно цивільно-правовими та адміністративними механізмами: медіацією, зверненням до органів опіки та піклування або іншими способами мирного врегулювання спорів [1, 6].

Юридична кваліфікація конфліктів і насильства ґрунтується не лише на національних нормах, а й на міжнародних стандартах прав людини, зокрема

Конвенції Ради Європи про запобігання насильству щодо жінок і домашньому насильству [4]. Законодавство України визначає чіткі процедури реагування: звернення до поліції, складання протоколів, подання заяв до суду, отримання термінових або обмежувальних приписів, а також залучення соціальних служб до оцінки ризиків [10].

Судова практика України підкреслює важливість належного документування конфліктних ситуацій, що включає:

- фіксацію хронології подій;
- наявність медичних довідок або свідчень сторонніх осіб;
- відповідність наданих матеріалів вимогам процесуального законодавства;
- правильну процесуальну реєстрацію документів [5].

Письмові пояснення сторін, подані через канцелярію суду і засвідчені штампом, набувають юридичної сили після прийняття судом. Вони можуть бути використані як доказовий матеріал для правового аналізу та подальшої наукової інтерпретації, що сприяє розвитку юридичної доктрини у сфері захисту прав людини [11].

У сучасній практиці спостерігається тенденція до розширеного тлумачення поняття «домашнє насильство», що іноді призводить до ототожнення побутових конфліктів із насильницькими діями. Такий підхід створює ризики неправомірного притягнення до відповідальності осіб, дії яких не містять ознак системності, умислу або заподіяння шкоди, визначених законом. Тому науково обґрунтоване розмежування понять «насильство» і «конфлікт» є ключовою умовою справедливого правосуддя.

Судовий кейс, розглянутий у практиці місцевого суду Харківської області у 2025 році, ілюструє ситуацію, коли побутовий конфлікт був помилково кваліфікований як домашнє насильство. Аналіз матеріалів засвідчив відсутність ознак умисного приниження, фізичної або психологічної шкоди, а також елементів контролю чи погроз.

Сторони перебували у тривалих шлюбних відносинах, однак один із членів сім'ї мав неврологічне захворювання, що впливало на емоційну стабільність. Відповідач визнав наявність побутових суперечок, але наголосив на ненасильницькому характері взаємодії та відсутності складу правопорушення. Дії відповідача відповідали спрямованню на захист життя і безпеки членів сім'ї [9].

Суд установив, що:

- відсутність системності та умислу виключає кваліфікацію дій як адміністративного правопорушення;
- побутовий конфлікт вимагає соціально-психологічної підтримки, а не правової санкції;

- проведення медичних і соціальних експертиз сприяє об'єктивності судового розгляду та запобігає надмірній криміналізації сімейних стосунків [4, 5].

Цей кейс є аналітичним прикладом методологічного розмежування побутових конфліктів і домашнього насильства та демонструє необхідність міждисциплінарного підходу — поєднання правових, психологічних і соціальних чинників, що становить основу гуманістичного правосуддя сучасної України.

2. Міжнародні підходи

У міжнародній практиці розмежування понять «конфлікт» і «насильство» є фундаментальним принципом правозастосування [7]. Відповідно до Стамбульської конвенції [4] та практики Європейського суду з прав людини, домашнє насильство визначається як систематичне, умисне завдання шкоди фізичного, психологічного, сексуального або економічного характеру [4, 8].

Побутовий конфлікт, навпаки, трактується як ситуативна реакція на емоційне або побутове непорозуміння, що підлягає вирішенню цивільно-правовими або адміністративними засобами. Практика держав ЄС (зокрема Німеччини, Польщі, Чехії) підтверджує, що доказова пропорційність, системність правових дій і нейтральність оцінки сторін є необхідними умовами для об'єктивного судового розгляду.

Правова кваліфікація конфліктів і домашнього насильства має ґрунтуватися на принципах об'єктивності, пропорційності та дотримання прав людини, забезпечуючи баланс між:

- захистом потерпілих;
- недопущенням надмірного втручання держави у приватне життя;
- науково виваженим аналізом соціально-психологічних факторів.

Запровадження єдиних методичних стандартів документування, оцінки та кваліфікації конфліктних ситуацій сприятиме формуванню сталої судової практики, підвищенню ефективності правового реагування та зміцненню гуманістичної моделі правосуддя в Україні [12].

3. Правове трактування догляду за особами з тяжкими захворюваннями

Питання догляду за особами з тяжкими або хронічними захворюваннями, що мають психоневрологічні, кардіологічні чи поведінкові розлади, перебуває на перетині медичного, соціального та адміністративного права.

Юридична оцінка дій осіб, які здійснюють догляд, повинна ґрунтуватися на принципах пропорційності, належного документування та дотримання прав людини. Адміністративні органи мають оцінювати не лише юридичну складову, а й медичні ризики, які визначають контекст поведінкових реакцій особи, що перебуває під доглядом.

3.1. Медичний стан потерпілої

Постраждала особа має низку тяжких захворювань, що формують складний медико-психологічний профіль:

- Синдром Вольфа–Паркінсона–Вайта (WPW) — кардіологічне порушення, що потребує радіочастотної абляції (РЧА);
- Менінгіома головного мозку з анаплазією, яка проявляється судомними станами, агресією та порушенням контролю поведінки;
- Поведінкові особливості, що включають епізоди агресії, емоційної нестабільності та реактивної дратівливості.

Такі клінічні прояви прямо впливають на соціальні взаємини в сім'ї, створюючи передумови конфліктів, які за своєю суттю не є актами насильства, а вторинними наслідками медичних розладів.

3.2. Особливості догляду та взаємодії з органами

Догляд за особою з подібним медичним профілем потребує системної взаємодії між:

- медичними установами (для проведення діагностики, терапії, моніторингу стану);
- соціальними службами (для надання допомоги й супроводу);
- органами опіки та піклування (для юридичного оформлення опікунства);
- правоохоронними органами (у разі виникнення конфліктів або непорозумінь).

Документування медичних станів і надання висновків експертних установ мають юридичну силу доказу у судових справах щодо домашнього насильства, якщо поведінкові прояви особи були спровоковані саме захворюванням. У таких випадках медичні документи — довідки, епікризи, результати психоневрологічних або кардіологічних обстежень — стають не лише допоміжними доказами, а й ключовими елементами для встановлення відсутності умислу чи пом'якшення відповідальності. Правоохоронні органи та суди мають враховувати медичну етіологію поведінки особи, особливо коли симптоми хвороби можуть викликати емоційні сплески, дезорієнтацію, агресивні реакції або тимчасові порушення контролю. Такий міждисциплінарний підхід дозволяє забезпечити справедливе правосуддя, уникнути криміналізації станів, зумовлених хворобою, та дотриматися принципу індивідуалізації відповідальності.

3.3. Фактор безпеки / ризику

Поєднання кардіологічних, неврологічних і поведінкових симптомів формує складну клініко-соціальну ситуацію, у якій правова оцінка дій опікуна чи родича має ґрунтуватися не лише на етичних або процедурних критеріях, а

й на медичній причинно-наслідковій залежності. Йдеться про необхідність встановлення науково обґрунтованого зв'язку між станом здоров'я особи та її здатністю адекватно сприймати події, оцінювати ризики, реагувати на стресові фактори й виконувати соціальні чи сімейні ролі. На практиці така оцінка потребує міждисциплінарного підходу, що поєднує медичну експертизу, психологічне дослідження та правовий аналіз. Метою є забезпечення того, щоб будь-які рішення, ухвалені від імені особи, відображали її реальні когнітивні та емоційні можливості, а не припущення чи суб'єктивні судження, гарантуючи відповідність дій опікуна принципам прав людини, гідності та пропорційної відповідальності.

Рівень ризику для потерпілої особи можна представити як функціональну модель, що враховує сукупність факторів (формула 1):

$$R = f(M, P, C) = M + P + C \quad (1)$$

Де:

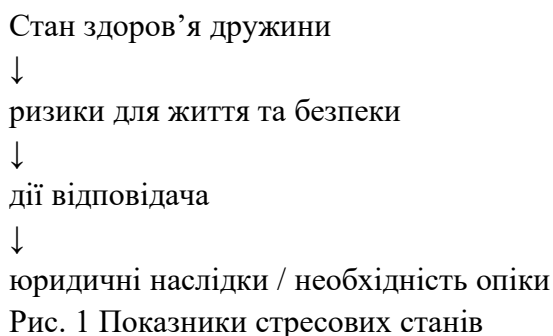
М - медичні фактори (WPW, менінгіома),

Р - поведінкові фактори (агресія, емоційна реактивність),

С - побутові чинники (стресові ситуації, умови проживання).

Джерело: авторська розробка

Ця модель дозволяє кількісно оцінювати ризики побутових інцидентів, що помилково можуть бути кваліфіковані як насильницькі дії. (рис. 1).



У таких випадках формальне тлумачення дій може призвести до помилкових висновків щодо наявності умислу або протиправності поведінки. Саме тому судово-медична та психолого-психіатрична експертиза набувають ключового значення при визначенні меж відповідальності, добросовісності та об'єктивності учасників побутового чи сімейного конфлікту.

Протягом 2005–2009 рр. у сім'ї, де проживав брат дружини з інвалідністю, спостерігалися епізоди агресивної поведінки, що спочатку трактувалися як побутові конфлікти. Однак подальше медичне обстеження виявило наявність неврологічних та кардіологічних розладів, які мали безпосередній вплив на емоційну стабільність і поведінкові реакції особи. Ці

прояви включали імпульсивність, неадекватну реакцію на зовнішні подразники та періодичну дезорієнтацію, що свідчило про органічне походження поведінкових змін. Надалі експертні висновки підтвердили, що агресивні прояви не мали умисного чи злочинного характеру, а були наслідком фізіологічних порушень, які вимагали медичного втручання, а не правової репресії.

Аналіз клінічного перебігу виявив періоди діагностичних помилок, фармакологічних побічних ефектів і необхідність комплексного неврологічного супроводу. (табл. 1).

1. Хронологія клінічних подій, діагностика та лікування

Рік	Подія / Діагноз	Основні симптоми	Методи діагностики	Лікування/результат
1990	Апендиктомія	Втрата свідомості, судоми	Архівні дані недоступні	Підозра на зупинку кровообігу, постгіпоксичні зміни
1991	Початкова діагностика синдрому WPW	Прискорене серцебиття, задишка, тахікардія	ЕКГ, клінічний огляд	Фармакотерапія відповідно до сучасних стандартів
1994	Діагноз підтверджено	Прискорене серцебиття, задишка, тахікардія	ЕКГ, ехокардіографія	Амбулаторне спостереження, неінвазивне кардіологічне втручання
2002–2005	Помилковий діагноз "епілепсія"	Судоми, втрата свідомості	Без ЕЕГ та нейровізуалізації	Карбамазепін → посилення аритмії, когнітивні порушення
2025	Поточна оцінка	Пароксизми, непритомність, вегетативні симптоми	ЕКГ, ЕЕГ, тепловий тест	Підтверджено AVRT, виявлено вагусну гіперреактивність, відмінено карбамазепін

Джерело: авторська розробка

У подібних випадках виникає складна міждисциплінарна проблема — визначення межі між патологічною поведінкою, зумовленою станом здоров'я, та протиправною дією, що підлягає юридичній оцінці. Правозастосовна практика в Україні свідчить, що відсутність своєчасного медичного висновку або комплексної психоневрологічної експертизи нерідко призводить до хибної кваліфікації подібних інцидентів як домашнього насильства.

Це, у свою чергу, створює ризики криміналізації осіб із неврологічними чи психосоматичними розладами, порушуючи принцип індивідуалізації відповідальності. Тому ключовим елементом превенції подібних юридичних помилок є налагодження взаємодії між медичними закладами, органами

соціального захисту та правоохоронними структурами, що дозволяє забезпечити баланс між захистом потерпілої сторони та дотриманням прав осіб із хронічними захворюваннями.

Такі дані підкреслюють потребу у медико-правовій інтеграції, коли результати клінічних спостережень мають бути враховані при оцінці правових дій сторін, особливо у справах, де може бути змішана природа конфлікту — соціально-поведінкова та медична.

Практичні рекомендації

1. Документування фактів конфліктів та насильства

Належне документування конфліктів і фактів насильства є фундаментальною умовою ефективного правового захисту, забезпечення об'єктивності розслідування та дотримання прав усіх учасників правовідносин. Саме системність, повнота та юридична коректність фіксації подій визначають, чи отримає потерпіла особа реальний захист, чи буде розслідування формальним, а винна особа уникне відповідальності.

Документування має здійснюватися в письмовій формі з обов'язковим зазначенням:

- дати, часу, місця події;
- ідентифікаційних даних учасників (за можливості — свідків);
- опису конкретних дій або висловлювань;
- візуальних або аудіодоказів (фото, відео, аудіозаписів), які можуть бути додані до заяви чи протоколу.

Такі документи можуть оформлюватися у вигляді:

- заяви до правоохоронних органів (Національної поліції або прокуратури);
- звернення до органів опіки та піклування, якщо йдеться про випадки, де є діти, особи з інвалідністю або потребуючі постійного догляду.
- письмового пояснення, зареєстрованого в канцелярії відповідної установи, медичного закладу або суду.

Після реєстрації документ набуває юридичного статусу офіційного доказу, а його відсутність може унеможливити доведення факту правопорушення у суді. Важливо, що кожен факт фіксації (номер вхідного, печатка, підпис уповноваженої особи) має значення для подальшої доказової процедури.

Крім офіційної документації, рекомендовано вести особистий журнал (щоденник) фіксації подій, у якому відображаються:

- хронологія конфліктних епізодів;
- зміни емоційного стану постраждалої особи;
- реакції свідків або сусідів;
- дії правоохоронців чи соціальних служб після звернень.

Такий інструмент активно застосовується в країнах Європейського Союзу — зокрема у Нідерландах, Бельгії, Швеції, Німеччині — як допоміжний доказовий засіб, що доповнює офіційні протоколи, медичні акти й висновки судово-психологічних експертиз. У практиці Європейського суду з прав людини (ЄСПЛ) також визнається доказовим будь-який систематизований документ, що містить послідовні записи, зроблені потерпілою стороною або її представником, якщо він підтверджується іншими доказами.

Відсутність належно оформлених доказів часто стає підставою для:

- відмови у відкритті кримінального провадження;
- закриття справи за недостатністю доказів;
- перекваліфікації дій як побутового конфлікту, що знижує ступінь юридичної відповідальності правопорушника.

Таким чином, документування має не лише юридичне, а й превентивне значення: воно формує доказову базу для суду, органів опіки та медичних закладів, а також забезпечує системний моніторинг динаміки конфліктної ситуації. З практичної точки зору, цей процес є частиною соціальної безпеки родини, адже дозволяє своєчасно виявити ризики та залучити фахову допомогу — психологічну, медичну, соціальну або правову.

2. Медичне та психологічне підтвердження

Медична документація є ключовим доказом у справах про домашнє насильство та одночасно засобом підтвердження шкоди здоров'ю для компенсаційних і реабілітаційних процедур [13].

Будь-які медичні довідки, висновки лікарів, акти судово-медичної експертизи, довідки психологів, психотерапевтів чи психіатрів визнаються належними доказами.

Особливу увагу слід приділяти психологічному насильству, що може не мати видимих фізичних наслідків. Його можна документувати шляхом:

- проходження психологічного обстеження;
- оформлення висновків центрів соціальної підтримки;
- консультаційних актів психотерапевтів.

У європейській практиці (Польща, Нідерланди, Німеччина) такі документи визнаються первинним доказом у справах про моральну шкоду або застосування обмежувальних приписів.

Рекомендується звертатися до медичних установ, які мають право видавати офіційні медичні акти, придатні для долучення до судових матеріалів або заяв до органів опіки. Таким чином, медичне підтвердження виконує подвійну функцію:

- доказову (юридичну);
- захисно-реабілітаційну (медико-соціальну).

3. Юридичний супровід і захист прав постраждалих.

Ключовим чинником ефективного реагування на факти насильства є своєчасне залучення фахової правової допомоги. Кожен громадянин має право отримати юридичну консультацію, допомогу у складанні заяв, позовів, клопотань, а також представництво у суді.

Залучення адвоката або юриста рекомендовано ще на етапі подання первинної заяви, оскільки від точності формулювань залежить кваліфікація справи (адміністративна чи кримінальна).

Юрист має право:

- подавати клопотання про забезпечення доказів;
- ініціювати застосування обмежувальних приписів;
- звертатися до органів опіки при загрозі дітям або недієздатним особам.

Випадки економічного насильства (контроль за коштами, позбавлення доступу до майна чи житла) або психологічного насильства (приниження, ізоляція, маніпуляції) також вимагають адекватного правового реагування.

4. Медіація та профілактика побутових конфліктів.

Не кожен побутовий конфлікт переходить у фазу насильства. Завдання правової системи — не лише карати, а й запобігати ескалації [14].

Одним із найефективніших інструментів є медіація — добровільне врегулювання спору за участю нейтрального посередника.

Медіація ефективна у випадках:

- сімейних суперечок (розподіл майна, виховання дітей);
- непорозумінь між родичами;
- конфліктів, пов'язаних із психологічними або побутовими стресами.

У країнах ЄС (Фінляндія, Данія, Німеччина) медіація проводиться у партнерстві з поліцією, соціальними службами та психологами. Такий підхід дає змогу уникнути судового процесу, зберегти сімейні стосунки та забезпечити психологічне відновлення сторін.

5. Академічний та аналітичний потенціал зібраних матеріалів.

Документально оформлені пояснення, протоколи, медичні акти й судові рішення можуть бути використані не лише як докази у конкретних справах, а й як емпірична база для науково-правових досліджень.

Такі матеріали:

- сприяють аналізу тенденцій поширення насильства;
- дозволяють оцінити ефективність чинного законодавства;
- допомагають розробити нові правові та соціальні механізми захисту вразливих категорій населення.

Наукова обробка реальних кейсів забезпечує міждисциплінарний підхід — поєднання правових, медичних і соціальних аспектів — що є ключовим у сучасній юриспруденції та соціальній політиці [15].

6. Європейський досвід і цифровізація процесів реагування.

Держави ЄС успішно впровадили електронні механізми фіксації фактів насильства:

- електронні реєстри звернень громадян;
- стандартизовані форми доказів;
- онлайн-сервіси психологічної допомоги [12].

У Литві, Чехії, Франції діють єдині бази даних інцидентів, доступні для судів, поліції та соціальних служб. Це забезпечує оперативність реагування і виключає дублювання чи приховування інформації.

Для України доцільним є створення національної електронної платформи моніторингу домашнього насильства, яка об'єднувала б дані органів МВС, судів, опіки та охорони здоров'я. Це підвищить прозорість, статистичну точність і швидкість реагування.

7. Медико-правові аспекти догляду за потерпілими

7.1. Організація медичного догляду

Забезпечення системного медичного догляду є ключовим чинником у випадках, коли потерпілі мають тяжкі хронічні або неврологічні захворювання (синдром WPW, менінгіома, післяопераційні стани).

У складних випадках рекомендується мультидисциплінарний підхід, коли діагностика та лікування узгоджуються між кількома профільними медичними закладами — кардіологічними, неврологічними, психіатричними. Ведення повної медичної документації — виписок, результатів обстежень, висновків консилиумів — не лише сприяє якості лікування, а й має юридичне значення для подальшої взаємодії з органами опіки.

7.2. Правові та соціальні аспекти

Медико-правова взаємодія є необхідною умовою ефективного захисту прав осіб, які втратили здатність до самостійного прийняття рішень або перебувають у кризовому стані.

Органи опіки та піклування приймають рішення на підставі обґрунтованих клопотань, що супроводжуються належним пакетом медичних доказів.

Юридичний супровід має забезпечувати баланс між захистом прав потерпілої особи та запобіганням зловживанням з боку опікунів. Доцільно підтримувати постійну координацію між медичними працівниками, соціальними службами та юристами, що відповідає європейським

стандартам комплексної допомоги постраждалим від домашнього насильства.

7.3. Рекомендації для кризових ситуацій

У випадках різких ускладнень або погіршення стану здоров'я необхідно мати чіткий алгоритм дій, який включає:

- контакти профільних лікарів;
- маршрути до найближчого медичного закладу;
- копії основних медичних документів (епікризи, довідки, результати аналізів).

Паралельно важливо забезпечити психологічну підтримку потерпілої особи, особливо в умовах тривалої реабілітації. Такі заходи не лише підвищують шанси на відновлення, а й запобігають повторній травматизації.

8. Підсумкові заходи

8.1. Медичні та соціальні заходи

Комплексний медичний і соціальний супровід потерпілих забезпечує зниження ризиків загострення хронічних захворювань і попередження травм. Рекомендується:

- Терміновий нагляд у спеціалізованих закладах, наприклад, у Харківській обласній лікарні для осіб із тяжкими захворюваннями;
- Регулярний моніторинг стану здоров'я, включно з кардіологічними, неврологічними та психіатричними обстеженнями;
- Мінімізація побутових ризиків шляхом адаптації житлового простору, контролю за потенційно небезпечними предметами та інтеграції соціальних працівників у повсякденні процедури.

8.2. Юридичні заходи

Юридичний супровід має забезпечувати захист прав потерпілих та легітимність дій опікунів:

- Встановлення опіки та правового контролю за особами, які не можуть самостійно забезпечити безпеку.
- Документування усіх подій, включно з медичними актами, протоколами та письмовими поясненнями, що підтверджують необхідність втручання;
- Отримання судових дозволів на проведення обстежень, інтервенцій та інших дій, що впливають на автономію особи.

8.3. Організаційні заходи

Ефективне управління побутом і взаємодія в родині допомагають запобігти ескалації конфліктів:

- Розподіл побутових функцій без примусу, що забезпечує автономію членів сім'ї та знижує конфліктність;
- Інструктаж родини щодо кризових дій, включно з алгоритмами реагування на медичні або поведінкові ускладнення.

8.4. Професійні та громадські заходи

Поєднання професійної діяльності опікунів із громадською активністю забезпечує комплексну соціальну підтримку потерпілих:

- Поєднання громадської діяльності з виконанням опікунських обов'язків сприяє створенню мережі підтримки та підвищує ефективність соціальної інтеграції;
- Баланс між соціальною активністю та сімейною безпекою, що дозволяє уникнути перевантаження опікуна та гарантує стабільність догляду.

Висновки

1. Фундаментальна відмінність між побутовими конфліктами та домашнім насильством

Розмежування цих явищ є ключовим для правозастосовної практики та соціальної роботи. Побутовий конфлікт носить ситуативний характер, обмежується словесними або побутовими непорозуміннями і не передбачає систематичного заподіяння шкоди. Домашнє насильство характеризується регулярним, системним впливом фізичного, психологічного, економічного або сексуального характеру, що створює реальну загрозу життю, здоров'ю або свободі особи.

2. Документування та подання матеріалів

Системне і належним чином оформлене документування фактів конфліктів і насильства є основою для реалізації прав потерпілих і забезпечення доказової бази у судових та адміністративних органах. Документи включають письмові пояснення, протоколи поліції, медичні довідки та акти судово-медичної експертизи, психологічні висновки та матеріали органів опіки.

3. Використання міжнародного досвіду та стандартизованих методик

Інтеграція практик європейських держав щодо документування, медичної та психологічної підтримки потерпілих демонструє ефективність комплексного підходу. Використання стандартизованих процедур фіксації доказів, медіації та психологічних консультацій підвищує ефективність превенції та правового реагування, сприяє розвитку міжвідомчої взаємодії та формуванню системи моніторингу домашнього насильства в Україні.

4. Комплексний підхід до захисту потерпілих

Ефективний захист життя, здоров'я та прав потерпілих потребує системного поєднання медичного, юридичного та соціального аспектів.

Своєчасне планування лікування, контроль стану здоров'я, правовий супровід, психологічна підтримка та медіація родини мінімізують ризики, забезпечують безпеку потерпілих і запобігають ескалації конфліктів.

5. Науково-аналітичне значення зібраних матеріалів

Документовані кейси домашнього насильства та побутових конфліктів становлять цінний ресурс для емпіричних досліджень, оцінки ефективності законодавства, розробки міждисциплінарних рекомендацій і підвищення рівня юридичної обізнаності фахівців.

6. Суспільне та практичне значення

Системне документування та комплексний захист потерпілих забезпечують ефективне функціонування правової системи, соціальних інституцій та формування культури ненасильницької взаємодії, сприяючи розвитку соціальної відповідальності і гуманістичного підходу у правозастосуванні.

Список джерел інформації

1. Коваленко, О. (2021). Адміністративне право: процесуальні аспекти. Київ: Юрінком Інтер.
2. Петрова, М. (2020). Судова практика у справах домашнього насильства. Харків: Право і суспільство.
3. Іваненко, С. (2019). Безоплатна правова допомога в Україні: досвід та виклики. Київ: Центр правової допомоги.
4. Council of Europe. (2011). Convention on preventing and combating violence against women and domestic violence (Istanbul Convention). Strasbourg: Council of Europe.
5. Верховний Суд України. (2022). Практика застосування ст. 173-2 КУпАП у справах про домашнє насильство. Київ: Судова практика.
6. Міністерство юстиції України. (2020). Методичні рекомендації щодо запобігання та реагування на домашнє насильство. Київ: Міністерство юстиції України.
7. European Union Agency for Fundamental Rights. (2022). Violence against women: an EU-wide survey. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
8. European Court of Human Rights. (2020). Case-law on the protection from domestic violence. Strasbourg: ECHR.
9. Верховна Рада України. (2023). Кодекс України про адміністративні правопорушення (із змінами та доповненнями).
10. Ministry of Social Policy of Ukraine. (2021). Методичні рекомендації з оцінки ризиків домашнього насильства. Київ.

11. Kyselova, T. (2018). Mediation and Access to Justice in Ukraine. *Journal of Dispute Resolution*, 34(2), 115–132.
12. Council of Europe. (2021). *Handbook on European law relating to violence against women and domestic violence*. Strasbourg.
13. Бойко І. (2022). Медико-правові аспекти фіксації насильства в сім'ї. Київ: НАПрН України.
14. Тимошенко І. (2020). Медіація як альтернатива судовому вирішенню сімейних спорів. Одеса: Юридична думка.
15. UN Women. (2022). *Gender-based violence and multidisciplinary response systems*. New York.

[EN_8]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Domestic Conflicts and Qualification of Domestic Violence

Abstract

In contemporary administrative and legal practice of Ukraine, the identification of typical procedural errors that arise during the preparation of administrative offence reports and the consideration of corresponding cases in courts has acquired particular significance [1, 2]. The analysis of specific case studies enables the development of practical recommendations aimed at improving the functioning of law enforcement agencies, the judiciary, and the system of free legal aid [3].

This article examines a case of administrative proceedings related to an accusation of committing domestic violence, which illustrates a number of problematic aspects. The legal analysis of individual cases in the field of administrative law allows for the identification not only of procedural features but also of interdisciplinary dimensions involving medicine, social protection, and the protection of human rights. The study focuses on an administrative case concerning an allegation of domestic violence, highlighting a range of issues in procedural and evidentiary support [4, 5]. The legal examination of such cases reveals not only procedural nuances but also interdisciplinary factors concerning medical evaluation, social welfare, and human rights protection [6].

The study analyzed the materials of a judicial case concerning allegations of domestic violence, as well as the legal assessment of submitted written explanations and documents reflecting the health status and social conditions of the parties involved in the conflict.

Keywords: domestic conflict, domestic violence, legal assessment, judicial practice, documentation, human rights protection, international experience, Ukraine.

Introduction

The issue of conflicts and violence in modern society possesses a multifaceted social, psychological, and legal dimension. It directly affects the stability of family relations, social security, and the effectiveness of law enforcement [2, 3]. Particular attention is given to the differentiation between domestic conflicts and cases of

domestic violence, as each of these phenomena requires a specific legal approach, procedural regulation, and social response [1, 4].

A domestic conflict is defined as a situation arising from differences in interests, emotional tensions, or cultural discrepancies among family members, neighbors, or other social groups. Such conflicts typically do not involve systematic humiliation, control, or threats to life and are generally resolved through civil or administrative mechanisms, including mediation, the involvement of social services, or psychological counseling [6, 7].

Domestic violence, in contrast, constitutes a systemic and repetitive phenomenon encompassing physical, psychological, economic, and sexual forms of abuse aimed at control, coercion, or subjugation of another person.

The problem of distinguishing domestic conflicts from domestic violence remains one of the most contentious issues in contemporary Ukrainian law enforcement and judicial practice. Ordinary family misunderstandings are often classified as administrative offences despite the absence of physical or psychological violence indicators. Such practices create risks of violating the principle of proportionality, undermine public confidence in the institution of legal protection against violence, and lead to the discrediting of the very concept of domestic violence — an issue of substantial significance for the legal system and social policy of the state [1, 5].

Analytical Section

1. Legal Interpretation and Judicial Practice

In Ukrainian legislation, the issue of domestic violence is comprehensively regulated. Conversely, domestic conflicts do not always fall under the legal definition of domestic violence. They are generally the result of differences in opinions, emotional reactions, or household misunderstandings among family members, relatives, or neighbors. Such situations are predominantly addressed through civil-law and administrative mechanisms, including mediation, recourse to guardianship and custodianship authorities, or other peaceful dispute-resolution procedures [1, 6].

The legal qualification of conflicts and acts of violence is based not only on national regulations but also on international human rights standards, particularly the Council of Europe Convention on Preventing and Combating Violence Against Women and Domestic Violence [4]. Ukrainian legislation establishes clear response procedures: contacting the police, drafting administrative offence reports, submitting applications to the court, obtaining urgent or restrictive injunctions, and involving social services in risk assessment [10].

Judicial practice in Ukraine emphasizes the importance of proper documentation of conflict situations, which includes:

- recording the chronology of events;
- providing medical certificates or witness statements;
- ensuring compliance of submitted materials with procedural law;
- proper procedural registration of documents [5].

Written explanations submitted by the parties through the court's registry office and certified with an official stamp acquire legal force upon their acceptance by the court. Such documents may serve as evidentiary material for legal analysis and further scholarly interpretation, thereby contributing to the development of legal doctrine in the field of human rights protection [11].

Modern practice demonstrates a tendency toward an expanded interpretation of the concept of "domestic violence," which sometimes leads to the conflation of household conflicts with violent acts. This approach carries the risk of unlawfully holding individuals accountable for actions that lack the elements of systematic behavior, intent, or harm as defined by law. Therefore, a scientifically substantiated distinction between the concepts of "violence" and "conflict" is a key prerequisite for the administration of fair justice.

A judicial case examined in the practice of a local court in the Kharkiv region in 2025 illustrates a situation in which a domestic dispute was mistakenly qualified as domestic violence. The analysis of the materials revealed no evidence of intentional humiliation, physical or psychological harm, or elements of control or threats.

The parties were in a long-term marital relationship; however, one family member suffered from a neurological disorder that affected emotional stability. The respondent acknowledged the existence of domestic disagreements but emphasized the non-violent nature of the interactions and the absence of elements constituting an administrative offence. The respondent's actions were directed toward protecting the life and safety of family members [9].

The court established that:

- the absence of systematic behavior and intent excludes the qualification of actions as an administrative offence;
- a domestic conflict requires socio-psychological support rather than legal sanction;
- conducting medical and social assessments contributes to the objectivity of judicial review and prevents excessive criminalization of family relations [4, 5].

This case serves as an analytical example of a methodological distinction between domestic conflicts and domestic violence. It demonstrates the necessity of an interdisciplinary approach — combining legal, psychological, and social factors — which forms the foundation of humanistic justice in modern Ukraine.

2. International Approaches

In international practice, the distinction between the concepts of “conflict” and “violence” constitutes a fundamental principle of law enforcement and judicial interpretation [7]. According to the Istanbul Convention (2011) [4] and the case law of the European Court of Human Rights, domestic violence is defined as systematic and intentional infliction of harm of a physical, psychological, sexual, or economic nature [4, 8].

A household conflict, by contrast, is interpreted as a situational reaction to emotional or domestic misunderstanding that is subject to resolution through civil or administrative means. The legal practice of European Union member states (particularly Germany, Poland, and the Czech Republic) confirms that evidentiary proportionality, systematic legal procedure, and impartial evaluation of the parties are essential prerequisites for objective judicial consideration.

The legal qualification of conflicts and domestic violence must be grounded in the principles of objectivity, proportionality, and respect for human rights, ensuring a balance between:

- the protection of victims;
- the prevention of excessive state interference in private life;
- and scientifically reasoned analysis of socio-psychological factors.

The implementation of unified methodological standards for documentation, assessment, and qualification of conflict situations will contribute to the formation of consistent judicial practice, enhance the effectiveness of legal response, and strengthen the humanistic model of justice in Ukraine [12].

3. Legal Interpretation of Care for Persons with Severe Illnesses

The issue of providing care for individuals with severe or chronic illnesses — including those with psychoneurological, cardiological, or behavioral disorders — lies at the intersection of medical, social, and administrative law.

The legal assessment of the actions of caregivers must be grounded in the principles of proportionality, proper documentation, and respect for human rights. Administrative authorities should evaluate not only the legal aspects of such situations but also the medical risks that define the behavioral context and responses of the person under care.

3.1. Medical Condition of the Victim

The affected individual suffers from several severe medical conditions that together form a complex medico-psychological profile:

- **Wolff–Parkinson–White (WPW) syndrome** — a cardiological disorder requiring radiofrequency ablation (RFA);
- **Anaplastic meningioma of the brain**, manifested by seizure episodes, aggression, and impaired behavioral control;

- ***Behavioral characteristics*** involving episodes of aggression, emotional instability, and reactive irritability.

These clinical manifestations have a direct impact on social interactions within the family, creating preconditions for conflicts which, by their nature, do not constitute acts of violence but represent secondary consequences of underlying medical disorders.

3.2. ***Specifics of Care and Interaction with Authorities***

The care of an individual with such a complex medical profile requires systematic coordination among:

- ***medical institutions*** — for diagnostics, therapy, and health monitoring;
- ***social services*** — for assistance and ongoing support;
- ***guardianship and custodianship authorities*** — for the legal formalization of guardianship;
- ***law enforcement agencies*** — in cases of conflict or misunderstanding.

The documentation of medical conditions and the provision of expert medical opinions possess legal evidentiary value in court proceedings concerning domestic violence, particularly when the individual's behavioral manifestations are medically induced. In such cases, medical documentation — including certificates, medical discharge summaries, and results of psychoneurological or cardiological examinations — serve not merely as supplementary evidence but as key elements for establishing the absence of intent or mitigating legal responsibility.

Law enforcement agencies and courts must take into account the medical etiology of a person's behavior, especially when the symptoms of an illness may provoke emotional outbursts, disorientation, aggressive reactions, or temporary loss of behavioral control. Such an interdisciplinary approach ensures the delivery of fair justice, prevents the criminalization of health-related conditions, and upholds the principle of individualized responsibility.

3.3. ***Safety / Risk Factor***

The combination of cardiological, neurological, and behavioral symptoms forms a complex clinical and social situation in which the legal evaluation of a guardian's or relative's actions must rely not only on ethical and procedural criteria but also on medical causality. This means establishing a scientifically substantiated link between the individual's health condition and their capacity to perceive reality, assess risks, respond to stress, and fulfill social or familial responsibilities. In practice, such an assessment requires an interdisciplinary approach, combining medical expertise, psychological evaluation, and legal interpretation. The goal is to ensure that any decision made on behalf of the individual reflects their actual cognitive and emotional competence, rather than assumptions or subjective

judgments, thereby aligning guardianship or assistance measures with principles of human rights, dignity, and proportional responsibility.

The level of risk for the affected individual can be represented as a functional model that considers a set of factors (Formula 1):

$$R = f(M, P, C) = M + P + C \quad (1)$$

Where:

M - medical factors (WPW, meningioma),

P - behavioral factors (aggression, emotional reactivity),

C - domestic factors (stressful situations, living conditions).

Source: Author's development

This model allows for the quantitative assessment of household incident risks, which might otherwise be mistakenly qualified as violent acts (Figure 1).

Health condition of the spouse

↓

Risks to life and safety

↓

Actions of the defendant

↓

Legal consequences / necessity of guardianship

Figure 1. Indicators of stress conditions

In such cases, formal interpretation of actions may lead to erroneous conclusions regarding intent or the unlawfulness of behavior. Therefore, forensic medical and psychological-psychiatric examinations become crucial in determining the boundaries of responsibility, good faith, and objectivity of participants in a domestic or family conflict.

Between 2005 and 2009, in a family where the wife's brother with a disability resided, episodes of aggressive behavior were observed that were initially interpreted as household conflicts. However, subsequent medical examinations revealed the presence of neurological and cardiological disorders that had a direct impact on the individual's emotional stability and behavioral responses. These manifestations included impulsivity, inadequate reactions to external stimuli, and periodic disorientation, which indicated the organic nature of the behavioral changes.

Later, expert conclusions confirmed that these aggressive manifestations were neither intentional nor criminal in nature but resulted from physiological dysfunctions requiring medical intervention rather than legal repression.

The analysis of the clinical course revealed periods of diagnostic errors, pharmacological side effects, and the necessity of comprehensive neurological supervision (Table 1).

Table 1. Chronology of Clinical Events, Diagnosis, and Treatment

Year	Event / Diagnosis	Main Symptoms	Diagnostic Methods	Treatment / Outcome
1990	Appendectomy	Loss of consciousness, convulsions	Archival data unavailable	Suspected circulatory arrest, post-hypoxic changes
1991	Initial diagnosis of WPW syndrome	Palpitations, dyspnea, tachycardia	ECG, clinical examination	Pharmacotherapy in accordance with modern standards
1994	Diagnosis confirmed	Palpitations, dyspnea, tachycardia	ECG, echocardiography	Outpatient monitoring, non-invasive cardiological intervention
2002–2005	Misdiagnosis “epilepsy”	Seizures, loss of consciousness	Without EEG and neuroimaging	Carbamazepine → increased arrhythmia, cognitive impairment
2025	Current evaluation	Paroxysms, fainting, vegetative symptoms	ECG, EEG, thermal test	AVRT confirmed, vagal hyperreactivity detected, carbamazepine discontinued

Source: Author's development

In such cases, a complex interdisciplinary challenge arises — determining the boundary between pathological behavior caused by a health condition and unlawful conduct subject to legal evaluation. Law enforcement practice in Ukraine indicates that the absence of timely medical conclusions or comprehensive psychoneurological examinations often leads to the misclassification of such incidents as domestic violence.

This, in turn, creates the risk of criminalizing individuals with neurological or psychosomatic disorders, thereby violating the principle of individualized responsibility. Consequently, a key element in preventing such legal errors is the establishment of effective coordination between medical institutions, social protection authorities, and law enforcement agencies, which ensures a balance between protecting the victim and safeguarding the rights of individuals with chronic health conditions.

These findings underscore the necessity of medical-legal integration, whereby the results of clinical observations must be considered in the legal assessment of the parties' actions, especially in cases where the conflict may have a mixed origin — both social-behavioral and medical.

Practical Recommendations

1. Documentation of Conflicts and Acts of Violence

Proper documentation of conflicts and acts of violence constitutes a fundamental prerequisite for effective legal protection, ensuring the objectivity of investigations and safeguarding the rights of all participants in the legal relationship. The systematic, complete, and legally accurate recording of events determines whether the victim receives genuine protection or whether the investigation remains formal, allowing the perpetrator to evade responsibility.

Documentation should be conducted in written form and must include:

- the date, time, and place of the event;
- identifying information of the participants (including witnesses, if possible);
- a description of specific actions or statements;
- visual or audio evidence (photographs, videos, audio recordings) that may be attached to a statement or protocol.

Such documents can take the form of:

- a statement to law enforcement agencies (National Police or Prosecutor's Office);
- an appeal to guardianship and custodianship authorities, particularly in cases involving children, persons with disabilities, or individuals requiring continuous care;
- a written explanation registered with the office of the relevant institution, medical facility, or court.

Once registered, the document acquires the legal status of official evidence, and its absence may prevent the establishment of a violation in court. It is important to note that each element of documentation — incoming number, stamp, signature of an authorized official — has significance for subsequent evidentiary procedures.

In addition to official documentation, it is recommended to maintain a personal log (diary) of recorded events, which should reflect:

- the chronology of conflict episodes;
- changes in the victim's emotional state;
- the reactions of witnesses or neighbors;
- the actions of law enforcement or social services following the reports.

This tool is actively used in European Union countries — including the Netherlands, Belgium, Sweden, and Germany — as a supplementary evidentiary measure complementing official protocols, medical reports, and conclusions of forensic-psychological examinations. In the practice of the European Court of Human Rights (ECHR), any systematically organized document containing sequential records made by the victim or their representative is also recognized as evidence, provided it is corroborated by other proof.

The absence of properly prepared evidence often results in:

- refusal to initiate criminal proceedings;
- dismissal of cases due to insufficient evidence;
- reclassification of actions as a household conflict, thereby reducing the level of legal responsibility of the perpetrator.

Thus, documentation carries not only a legal significance but also a preventive function: it forms the evidentiary basis for courts, guardianship authorities, and medical institutions, while enabling systematic monitoring of the dynamics of the conflict situation. From a practical standpoint, this process is an integral part of family social security, as it allows timely identification of risks and the engagement of professional assistance — psychological, medical, social, or legal.

2. Medical and Psychological Verification

Medical documentation constitutes a key form of evidence in cases of domestic violence and simultaneously serves as a means of verifying health damage for purposes of compensation and rehabilitation [13].

Any medical certificates, physician conclusions, forensic medical examination reports, and evaluations by psychologists, psychotherapists, or psychiatrists are recognized as admissible evidence.

Particular attention should be given to psychological violence, which may not leave visible physical traces. It can be documented through:

- undergoing psychological assessment;
- obtaining conclusions from social support centers;
- producing consultation reports from psychotherapists.

In European practice (Poland, the Netherlands, Germany), such documents are considered primary evidence in cases involving moral harm or the application of restrictive orders.

It is recommended to approach medical institutions authorized to issue official medical reports, suitable for attachment to court materials or submissions to guardianship authorities.

Thus, medical verification serves a dual function:

- *Evidentiary (legal)* — establishing facts for judicial consideration;
- *Protective and rehabilitative (medical-social)* — supporting the health, safety, and recovery of the victim.

3. Legal Support and Protection of Victims' Rights

A key factor in the effective response to acts of violence is the timely engagement of professional legal assistance. Every citizen has the right to obtain legal consultation, support in drafting statements, claims, petitions, as well as representation in court.

Engaging a lawyer or legal counsel is recommended at the stage of submitting the initial statement, as the accuracy of wording directly affects the qualification of the case (administrative or criminal).

A legal professional is entitled to:

- submit motions to secure evidence;
- initiate the application of protective or restrictive orders;
- contact guardianship authorities in cases where children or legally incapacitated persons are at risk.

Cases involving economic violence (such as control over finances, deprivation of access to property or housing) or psychological violence (including humiliation, isolation, or manipulation) also require appropriate legal response to ensure the protection of victims' rights.

4. Mediation and Prevention of Household Conflicts

Not every household conflict escalates into violence. The task of the legal system is therefore not only to punish but also to prevent escalation [14].

One of the most effective tools for this purpose is mediation — a voluntary dispute resolution process involving a neutral third-party facilitator.

Mediation has proven effective in cases involving:

- family disputes, such as property division or child-rearing issues;
- misunderstandings between relatives;
- conflicts arising from psychological or domestic stressors.

In European Union countries (Finland, Denmark, Germany), mediation is conducted in partnership with law enforcement, social services, and psychologists. This integrated approach allows for:

- avoidance of formal court proceedings;
- preservation of family relationships;
- psychological recovery and support for the parties involved.

5. Academic and Analytical Potential of Collected Materials

Documented statements, protocols, medical records, and judicial decisions can be utilized not only as evidence in specific cases but also as an empirical foundation for legal and scientific research.

Such materials:

- facilitate the analysis of trends in the prevalence of violence;
- allow assessment of the effectiveness of existing legislation;
- assist in the development of new legal and social mechanisms for the protection of vulnerable populations.

Scientific processing of real cases ensures an interdisciplinary approach, combining legal, medical, and social aspects, which is essential in contemporary jurisprudence and social policy [15].

6. European Experience and Digitalization of Response Processes

European Union countries have successfully implemented electronic mechanisms for recording instances of violence, including:

- electronic registries of citizen reports;
- standardized evidence forms;
- online psychological support services [12].

In Lithuania, the Czech Republic, and France, centralized incident databases are accessible to courts, law enforcement agencies, and social services, ensuring prompt response and preventing duplication or concealment of information.

For Ukraine, it would be advisable to establish a national electronic platform for monitoring domestic violence, integrating data from the Ministry of Internal Affairs, courts, guardianship authorities, and healthcare institutions. Such a platform would enhance transparency, statistical accuracy, and the speed of response.

7. Medico-Legal Aspects of Care for Victims

7.1. Organization of Medical Care. Ensuring systematic medical care is a critical factor in cases where victims suffer from severe chronic or neurological conditions (e.g., WPW syndrome, meningioma, postoperative states).

In complex situations, a multidisciplinary approach is recommended, whereby diagnosis and treatment are coordinated across multiple specialized medical institutions—cardiology, neurology, and psychiatry. Maintaining comprehensive medical documentation—including discharge summaries, examination results, and consilium reports—not only enhances the quality of treatment but also holds legal significance for subsequent interaction with guardianship authorities.

7.2. Legal and Social Aspects. Medico-legal collaboration is a necessary condition for the effective protection of the rights of individuals who have lost the capacity for independent decision-making or are in a crisis state.

Guardianship authorities make decisions based on well-substantiated petitions, accompanied by a complete package of medical evidence. Legal support should ensure a balance between the protection of the victim's rights and the prevention of abuse by caregivers. Continuous coordination among medical professionals, social services, and legal specialists is advisable, aligning with European standards for comprehensive assistance to victims of domestic violence.

7.3. Recommendations for Crisis Situations. In cases of sudden complications or deterioration of health, a clear action algorithm is necessary, including:

- contact information for relevant specialists;

- routes to the nearest medical facility;
- copies of key medical documents (discharge summaries, medical certificates, test results).

Simultaneously, it is crucial to provide psychological support to the victim, particularly during prolonged rehabilitation. Such measures not only increase the likelihood of recovery but also prevent retraumatization.

8. Concluding Measures

8.1. Medical and Social Measures. Comprehensive medical and social support for victims reduces the risk of chronic condition exacerbation and prevents injuries. Recommended measures include:

- Urgent supervision in specialized institutions, e.g., Kharkiv Regional Hospital for individuals with severe illnesses;
- Regular health monitoring, including cardiological, neurological, and psychiatric assessments;
- Minimization of household risks through adaptation of living spaces, control over potentially hazardous objects, and integration of social workers into daily routines.

8.2. Legal Measures. Legal support must ensure protection of victims' rights and legitimacy of caregivers' actions:

- Establishment of guardianship and legal oversight for individuals unable to ensure their own safety;
- Documentation of all events, including medical reports, protocols, and written explanations confirming the necessity of intervention;
- Obtaining court permissions for examinations, interventions, and other actions affecting the autonomy of the individual.

8.3. Organizational Measures. Effective household management and family interaction help prevent conflict escalation:

- Distribution of household responsibilities without coercion, ensuring autonomy of family members and reducing conflicts;
- Family training on crisis procedures, including algorithms for responding to medical or behavioral complications.

8.4. Professional and Community Measures. Combining professional caregiving with community engagement provides comprehensive social support for victims:

- Integration of community activities with guardianship duties helps build a support network and enhances social integration;
- Balance between social engagement and family safety prevents caregiver overload and ensures stability in care.

Conclusions

1. *Fundamental Distinction between Domestic Conflicts and Domestic Violence*

Distinguishing between these phenomena is crucial for law enforcement practice and social work. A domestic conflict is situational in nature, limited to verbal or household misunderstandings, and does not involve systematic harm. Domestic violence, by contrast, is characterized by regular, systematic actions of a physical, psychological, economic, or sexual nature that create a real threat to the life, health, or freedom of the individual.

2. *Documentation and Submission of Materials*

Systematic and properly organized documentation of incidents of conflict and violence forms the foundation for realizing the rights of victims and ensuring an evidentiary basis in judicial and administrative bodies. Such documentation includes written statements, police reports, medical certificates, forensic medical examination reports, psychological assessments, and materials from guardianship authorities.

3. *Utilization of International Experience and Standardized Methodologies*

Integrating the practices of European states concerning documentation, medical and psychological support for victims demonstrates the effectiveness of a comprehensive approach. The use of standardized procedures for evidence collection, mediation, and psychological counseling enhances the effectiveness of prevention and legal response, promotes interagency cooperation, and contributes to the establishment of a monitoring system for domestic violence in Ukraine.

4. *Comprehensive Approach to Victim Protection*

Effective protection of the life, health, and rights of victims requires the systemic combination of medical, legal, and social measures. Timely planning of treatment, monitoring of health status, legal support, psychological assistance, and family mediation minimize risks, ensure victim safety, and prevent conflict escalation.

5. *Scientific and Analytical Significance of the Collected Materials*

Documented cases of domestic violence and household conflicts constitute a valuable resource for empirical research, assessment of legislative effectiveness, development of interdisciplinary recommendations, and enhancement of the legal awareness of professionals.

6. *Social and Practical Significance*

Systematic documentation and comprehensive protection of victims ensure the effective functioning of the legal system and social institutions, while fostering a culture of non-violent interaction, promoting social responsibility, and supporting a humanistic approach in law enforcement practice.

References

1. Kovalenko, O. (2021). Administrative Law: Procedural Aspects. Kyiv: Yurinkom Inter.
2. Petrova, M. (2020). Judicial Practice in Domestic Violence Cases. Kharkiv: Law and Society.
3. Ivanenko, S. (2019). Free Legal Aid in Ukraine: Experience and Challenges. Kyiv: Legal Aid Center.
4. Council of Europe. (2011). Convention on preventing and combating violence against women and domestic violence (Istanbul Convention). Strasbourg: Council of Europe.
5. Supreme Court of Ukraine. (2022). Practice of Applying Article 173-2 of the Code of Ukraine on Administrative Offenses in Domestic Violence Cases. Kyiv: Judicial Practice.
6. Ministry of Justice of Ukraine. (2020). Methodological Recommendations on the Prevention of and Response to Domestic Violence. Kyiv: Ministry of Justice of Ukraine.
7. European Union Agency for Fundamental Rights. (2022). Violence against women: an EU-wide survey. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
8. European Court of Human Rights. (2020). Case-law on the protection from domestic violence. Strasbourg: ECHR.
9. Verkhovna Rada of Ukraine. (2023). Code of Ukraine on Administrative Offenses (with Amendments and Additions).
10. Ministry of Social Policy of Ukraine. (2021). Methodological Recommendations for the Assessment of Domestic Violence Risks. Kyiv.
11. Kyselova, T. (2018). Mediation and Access to Justice in Ukraine. *Journal of Dispute Resolution*, 34(2), 115–132.
12. Council of Europe. (2021). Handbook on European law relating to violence against women and domestic violence. Strasbourg.
13. Boyko, I. (2022). Medico-Legal Aspects of Documenting Family Violence. Kyiv: National Academy of Legal Sciences of Ukraine.
14. Tymoshenko, I. (2020). Mediation as an Alternative to Judicial Resolution of Family Disputes. Odesa: Legal Thought.
15. UN Women. (2022). Gender-based violence and multidisciplinary response systems. New York.

[ES_8]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Conflictos Domésticos y Calificación de la Violencia Doméstica

Resumen

En la práctica administrativa y jurídica contemporánea de Ucrania, la identificación de errores procesales típicos que surgen durante la elaboración de actas sobre infracciones administrativas y la tramitación de los correspondientes casos ante los tribunales ha adquirido una importancia particular [1, 2]. El análisis de casos concretos permite desarrollar recomendaciones prácticas orientadas a mejorar el funcionamiento de los organismos encargados de hacer cumplir la ley, del poder judicial y del sistema de asistencia jurídica gratuita [3].

El presente artículo examina un caso de procedimiento administrativo relacionado con una acusación de haber cometido violencia doméstica, que ilustra una serie de aspectos problemáticos. El análisis jurídico de casos individuales en el ámbito del derecho administrativo permite identificar no solo las particularidades procesales, sino también las dimensiones interdisciplinarias que abarcan la medicina, la protección social y la salvaguardia de los derechos humanos. El estudio se centra en un caso administrativo relativo a una denuncia de violencia intrafamiliar, destacando una serie de cuestiones relativas al apoyo procesal y probatorio [4, 5]. El examen jurídico de este tipo de asuntos revela no solo matices procedimentales, sino también factores interdisciplinarios relacionados con la evaluación médica, la asistencia social y la protección de los derechos humanos [6].

El estudio analizó los materiales de un caso judicial relacionado con acusaciones de violencia doméstica, así como la evaluación legal de las explicaciones escritas y los documentos presentados que reflejan el estado de salud y las condiciones sociales de los participantes en el conflicto.

Palabras clave: conflicto doméstico, violencia intrafamiliar, valoración jurídica, práctica judicial, documentación, protección de los derechos humanos, experiencia internacional, Ucrania.

Introducción

La cuestión de los conflictos y la violencia en la sociedad contemporánea presenta una compleja dimensión social, psicológica y jurídica. Afecta directamente la estabilidad familiar, la seguridad social y la eficacia de las instituciones de orden público [2, 3]. Se otorga especial atención a la distinción entre conflictos domésticos y violencia intrafamiliar, ya que cada fenómeno exige un enfoque jurídico y procesal específico, así como una respuesta social diferenciada [1, 4].

Un conflicto doméstico se entiende como una situación derivada de discrepancias de intereses, tensiones emocionales o diferencias culturales entre familiares, vecinos u otros grupos sociales. Generalmente no implica humillación sistemática ni amenazas, y suele resolverse mediante mecanismos civiles o administrativos: mediación, intervención de servicios sociales o asistencia psicológica [6, 7].

En cambio, la violencia intrafamiliar constituye un fenómeno sistemático y reiterado que incluye formas de abuso físico, psicológico, económico o sexual dirigidas al control o sometimiento de otra persona.

La delimitación entre conflicto doméstico y violencia intrafamiliar sigue siendo un problema controvertido en la práctica policial y judicial ucraniana. A menudo se califican como infracciones administrativas simples malentendidos familiares, aun sin indicios de violencia. Tales prácticas vulneran el principio de proporcionalidad, reducen la confianza pública en la protección jurídica contra la violencia y desvirtúan el propio concepto de violencia intrafamiliar, cuestión de gran relevancia para el sistema legal y la política social del Estado [1, 5].

Sección Analítica

1. Interpretación jurídica y práctica judicial

En la legislación ucraniana, la cuestión de la violencia intrafamiliar se encuentra regulada de manera integral. En cambio, los conflictos domésticos no siempre encajan en la definición jurídica de violencia intrafamiliar. Generalmente son el resultado de divergencias de opinión, reacciones emocionales o malentendidos cotidianos entre miembros de la familia, parientes o vecinos. Estas situaciones se abordan predominantemente mediante mecanismos de derecho civil o administrativo, como la mediación, la intervención de las autoridades de tutela o de otros procedimientos pacíficos de resolución de disputas [1, 6].

La calificación jurídica de los conflictos y de los actos de violencia se basa no solo en las normas nacionales, sino también en los estándares internacionales de derechos humanos, en particular el Convenio del Consejo de Europa sobre la prevención y la lucha contra la violencia contra la mujer y la violencia doméstica [4]. La legislación ucraniana establece procedimientos de respuesta claramente definidos: contacto con la policía, redacción de actas por infracciones administrativas, presentación de solicitudes judiciales, obtención de órdenes de

protección urgentes o restrictivas e implicación de los servicios sociales en la evaluación de riesgos [10].

La práctica judicial en Ucrania subraya la importancia de una documentación adecuada de las situaciones conflictivas, que debe incluir:

- el registro cronológico de los hechos;
- la presentación de certificados médicos o declaraciones testificales;
- el cumplimiento de las normas procesales en la presentación de materiales;
- la correcta formalización procesal de los documentos [5].

Las explicaciones escritas presentadas por las partes a través de la secretaría judicial y certificadas con sello oficial adquieren fuerza jurídica una vez aceptadas por el tribunal. Dichos documentos pueden servir como material probatorio para el análisis jurídico y la interpretación doctrinal, contribuyendo así al desarrollo del pensamiento jurídico en materia de protección de los derechos humanos [11].

La práctica contemporánea evidencia una tendencia hacia una interpretación extensiva del concepto de “violencia intrafamiliar”, que a veces conduce a confundir conflictos domésticos con actos violentos. Este enfoque entraña el riesgo de responsabilizar indebidamente a personas por acciones que carecen de los elementos de sistematicidad, intencionalidad o daño exigidos por la ley. Por ello, una distinción científicamente fundamentada entre los conceptos de “violencia” y “conflicto” constituye un requisito esencial para la administración de una justicia equitativa.

Un caso judicial examinado en la práctica de un tribunal local de la región de Járkov en 2025 ilustra una situación en la que un conflicto doméstico fue calificado erróneamente como violencia doméstica. El análisis de los materiales demostró la ausencia de indicios de humillación intencional, daño físico o psicológico, así como de elementos de control o amenazas.

Las partes mantenían una relación matrimonial prolongada; sin embargo, uno de los miembros de la familia padecía un trastorno neurológico que afectaba la estabilidad emocional. El demandado reconoció la existencia de desacuerdos domésticos, pero subrayó su carácter no violento y la falta de elementos constitutivos de infracción administrativa. Sus acciones estaban orientadas a proteger la vida y la seguridad de los miembros del hogar [9].

El tribunal determinó que:

- la ausencia de conducta sistemática e intención excluye la calificación de los hechos como infracción administrativa;
- un conflicto doméstico requiere apoyo socio-psicológico y no sanción jurídica;
- la realización de evaluaciones médicas y sociales favorece la objetividad del examen judicial y previene la criminalización excesiva de las relaciones familiares [4, 5].

Este caso constituye un ejemplo analítico y metodológico de la distinción entre conflicto doméstico y violencia intrafamiliar. Demuestra la necesidad de un enfoque interdisciplinario que combine factores jurídicos, psicológicos y sociales, los cuales forman la base de una justicia humanista en la Ucrania contemporánea.

2. Enfoques internacionales

En la práctica jurídica internacional, la distinción entre los conceptos de “conflicto” y “violencia” constituye un principio fundamental de la aplicación del derecho y de la interpretación judicial [7]. De acuerdo con el Convenio de Estambul (2011) [4] y la jurisprudencia del Tribunal Europeo de Derechos Humanos, la violencia intrafamiliar se define como la causación sistemática e intencional de daño físico, psicológico, sexual o económico [4, 8].

Por el contrario, un conflicto doméstico se interpreta como una reacción situacional ante un malentendido emocional o cotidiano, susceptible de resolución mediante vías civiles o administrativas. La práctica jurídica de los Estados miembros de la Unión Europea —en particular, Alemania, Polonia y la República Checa— confirma que la proporcionalidad probatoria, el procedimiento jurídico sistemático y la evaluación imparcial de las partes constituyen condiciones esenciales para una apreciación judicial objetiva.

La calificación jurídica de los conflictos y de la violencia intrafamiliar debe basarse en los principios de objetividad, proporcionalidad y respeto a los derechos humanos, garantizando un equilibrio entre:

- la protección efectiva de las víctimas;
- la prevención de una injerencia estatal excesiva en la vida privada;
- y el análisis científicamente fundamentado de los factores socio-psicológicos.

La implementación de estándares metodológicos unificados para la documentación, evaluación y calificación de las situaciones conflictivas contribuirá a la consolidación de una práctica judicial coherente, al fortalecimiento de la eficacia de la respuesta jurídica y al afianzamiento de un modelo de justicia humanista en Ucrania [12].

3. Interpretación jurídica del cuidado de personas con enfermedades graves

La cuestión del cuidado de personas que padecen enfermedades graves o crónicas - incluidas aquellas con trastornos psiconeurológicos, cardiológicos o de conducta - se sitúa en la intersección del derecho médico, social y administrativo.

La valoración jurídica de las actuaciones de los cuidadores debe fundamentarse en los principios de proporcionalidad, adecuada documentación y respeto de los derechos humanos. Las autoridades administrativas han de considerar no solo los aspectos estrictamente jurídicos de tales situaciones, sino también los riesgos médicos que determinan el contexto conductual y las respuestas de la persona bajo cuidado.

3.1. *Estado médico de la persona afectada*

La persona afectada padece varias afecciones médicas graves que, en conjunto, configuran un perfil médico-psicológico complejo:

- ***Síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW)*** - trastorno cardiológico que requiere ablación por radiofrecuencia (ARF);
- ***Meningioma anaplásico cerebral***, manifestado por episodios convulsivos, conductas agresivas y alteraciones en el control del comportamiento;
- ***Características conductuales*** que incluyen episodios de agresión, inestabilidad emocional e irritabilidad reactiva.

Estas manifestaciones clínicas inciden de manera directa en las interacciones sociales dentro del entorno familiar, generando condiciones predisponentes a conflictos que, por su naturaleza, no constituyen actos de violencia, sino que representan consecuencias secundarias de trastornos médicos subyacentes.

3.2. *Especificidades del cuidado y de la interacción con las autoridades*

La atención de una persona con un perfil médico de alta complejidad requiere una coordinación sistemática entre los siguientes actores institucionales:

- ***instituciones médicas***, responsables de la diagnosis, tratamiento y seguimiento del estado de salud;
- ***servicios sociales***, encargados de la asistencia y apoyo continuos;
- ***autoridades de tutela y curaduría***, competentes para la formalización jurídica de la guarda o custodia;
- ***órganos de aplicación de la ley***, en situaciones de conflicto o malentendido.

La documentación médica y los informes periciales especializados poseen valor probatorio jurídico en los procesos judiciales relativos a la violencia doméstica, especialmente cuando las manifestaciones conductuales de la persona están determinadas por causas médicas. En tales casos, los expedientes clínicos, certificados médicos, altas hospitalarias y los resultados de evaluaciones psiconeurológicas o cardiológicas constituyen elementos probatorios esenciales, no meramente complementarios, para acreditar la ausencia de dolo o atenuar la responsabilidad jurídica.

Los órganos de seguridad pública y los tribunales deben considerar la etiología médica del comportamiento individual, particularmente cuando los síntomas de una enfermedad puedan provocar reacciones emocionales intensas, desorientación, respuestas agresivas o pérdida temporal del autocontrol.

Este enfoque interdisciplinario garantiza la impartición de una justicia equitativa, previene la criminalización de condiciones de salud y afirma el principio de responsabilidad individualizada en el marco del Estado de Derecho.

3.3. Seguridad / Factor de riesgo

La combinación de síntomas cardiológicos, neurológicos y conductuales genera una situación clínica y social compleja, en la que la evaluación jurídica de las acciones de un tutor o familiar debe considerar criterios éticos y procesales, así como la causalidad médica. Esto implica establecer un vínculo científicamente fundamentado entre la condición de salud del individuo y su capacidad para percibir la realidad, evaluar riesgos, responder al estrés y cumplir responsabilidades sociales o familiares.

El nivel de riesgo para la persona afectada puede representarse mediante un modelo funcional que considere un conjunto de factores (Fórmula 1):

$$R = f(M, P, C) = M + P + C \quad (1)$$

Donde:

M - factores médicos (WPW, meningioma),

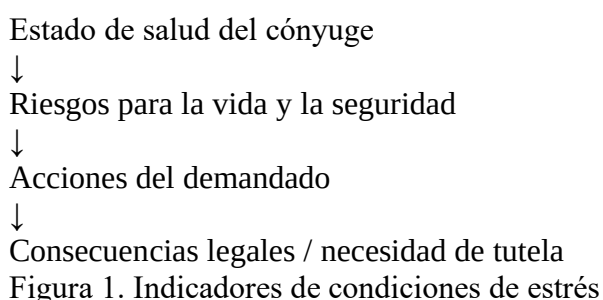
P - factores conductuales (agresión, reactividad emocional),

C - factores domésticos (situaciones estresantes, condiciones de vida).

Fuente: elaboración del autor

En la práctica, dicha valoración requiere un enfoque interdisciplinario, que combine pericia médica, evaluación psicológica e interpretación jurídica. El objetivo es garantizar que cualquier decisión tomada en nombre del individuo refleje su competencia cognitiva y emocional real, evitando suposiciones o juicios subjetivos, y alineando las medidas de tutela o asistencia con los principios de derechos humanos, dignidad y responsabilidad proporcional.

Este modelo permite una evaluación cuantitativa del riesgo de incidentes domésticos, que de otro modo podrían ser erróneamente clasificados como actos violentos (Figura 1).



En estos casos, la interpretación formal de las acciones puede llevar a conclusiones erróneas respecto a la intención o la ilicitud del comportamiento. Por ello, los exámenes médico-forenses y psico-psiquiátricos son fundamentales para determinar los límites de la responsabilidad, buena fe y objetividad de los participantes en conflictos familiares.

Entre 2005 y 2009, en un hogar donde residía el hermano con discapacidad de la esposa, se observaron episodios de conducta agresiva inicialmente interpretados

como conflictos domésticos. Exámenes médicos posteriores revelaron la presencia de trastornos neurológicos y cardiológicos que afectaban directamente la estabilidad emocional y las respuestas conductuales del individuo, incluyendo impulsividad, reacciones inadecuadas a estímulos externos y desorientación periódica, lo que indicaba la naturaleza orgánica de dichos cambios.

Los informes periciales confirmaron que estas manifestaciones agresivas no eran intencionales ni delictivas, sino consecuencia de disfunciones fisiológicas que requerían intervención médica y no represión legal (Table 1).

Tabla 1. Cronología de eventos clínicos, diagnóstico y tratamiento

Año	Evento / Diagnóstico	Principales síntomas	Métodos de diagnóstico	Tratamiento / Resultado
1990	Apendicectomía	Pérdida de conciencia, convulsiones	Datos de archivo no disponibles	Sospecha de paro circulatorio, cambios post-hipóxicos
1991	Diagnóstico inicial de síndrome WPW	Palpitaciones, disnea, taquicardia	ECG, examen clínico	Farmacoterapia según estándares actuales
1994	Diagnóstico confirmado	Palpitaciones, disnea, taquicardia	ECG, ecocardiografía	Monitoreo ambulatorio, intervención cardiológica no invasiva
2002–2005	Diagnóstico erróneo: "epilepsia"	Convulsiones, pérdida de conciencia	Sin EEG ni neuroimagen	Carbamazepina → aumento de arritmia, deterioro cognitivo
2025	Evaluación actual	Paroxismos, desmayos, síntomas vegetativos	ECG, EEG, test térmico	Confirmación AVRT, hiperreactividad vagal detectada, carbamazepina suspendida

Fuente: elaboración del autor

En tales situaciones surge un reto interdisciplinario complejo: determinar el límite entre conducta patológica debida a condiciones de salud y conducta ilícita sujeta a evaluación legal. La práctica policial y judicial en Ucrania indica que la falta de conclusiones médicas oportunas o exámenes psiconeurológicos completos puede conducir a la clasificación errónea de incidentes como violencia doméstica, creando riesgos de criminalización de personas con trastornos neurológicos o psicosomáticos y violando el principio de responsabilidad individualizada.

Por ello, un elemento clave para prevenir errores legales es la coordinación efectiva entre instituciones médicas, autoridades de protección social y agencias de seguridad, asegurando un equilibrio entre la protección de la víctima y los derechos de individuos con condiciones de salud crónicas.

Estos hallazgos destacan la necesidad de integración médico-legal, considerando los resultados de la observación clínica en la evaluación jurídica de las

acciones de las partes, especialmente cuando el conflicto tiene un origen mixto — social-conductual y médico.

Recomendaciones Prácticas

1. Documentación de conflictos y actos de violencia

La documentación adecuada de conflictos y actos de violencia constituye un requisito fundamental para la protección jurídica efectiva, asegurando la objetividad de las investigaciones y salvaguardando los derechos de todos los participantes en la relación jurídica. El registro sistemático, completo y jurídicamente preciso de los hechos determina si la víctima recibe protección real o si la investigación permanece formal, permitiendo que el agresor eluda la responsabilidad.

La documentación debe realizarse en formato escrito e incluir:

- fecha, hora y lugar del evento;
- identificación de los participantes (incluyendo testigos, cuando sea posible);
- descripción de acciones o declaraciones específicas;
- evidencia visual o auditiva (fotografías, videos, grabaciones de audio) que puedan adjuntarse a la declaración o protocolo.

Estos documentos pueden adoptar las siguientes formas:

- Declaración ante los órganos de aplicación de la ley (Policía Nacional o Fiscalía);
- Solicitud ante autoridades de tutela o curaduría, especialmente en casos que involucren menores, personas con discapacidad o individuos que requieran cuidado continuo;
- Explicación por escrito registrada en la oficina de la institución pertinente, centro médico o tribunal.

Una vez registrada, la documentación adquiere el carácter de evidencia oficial, y su ausencia puede impedir la determinación de una infracción ante el tribunal. Es relevante señalar que cada elemento de la documentación —número de entrada, sello, firma de funcionario autorizado— posee significado para los procedimientos probatorios posteriores.

Además de la documentación oficial, se recomienda mantener un registro personal (diario) de los hechos, que debe reflejar:

- cronología de los episodios de conflicto;
- cambios en el estado emocional de la víctima;
- reacciones de testigos o vecinos;
- acciones de las fuerzas de seguridad o servicios sociales tras los informes.

Esta herramienta se utiliza activamente en países de la Unión Europea, incluidos Países Bajos, Bélgica, Suecia y Alemania, como medida probatoria complementaria junto con protocolos oficiales, informes médicos y conclusiones

de exámenes forense-psicológicos. En la práctica del Tribunal Europeo de Derechos Humanos (TEDH), cualquier documento sistemáticamente organizado que contenga registros secuenciales elaborados por la víctima o su representante también se reconoce como evidencia, siempre que esté corroborado por otras pruebas.

La ausencia de evidencia adecuadamente preparada con frecuencia resulta en:

- negativa a iniciar procedimientos penales;
- archivo de casos por falta de pruebas;
- reclasificación de las acciones como conflicto doméstico, reduciendo así el nivel de responsabilidad jurídica del agresor.

Por lo tanto, la documentación posee no solo significado jurídico, sino también una función preventiva: constituye la base probatoria para tribunales, autoridades de tutela e instituciones médicas, y permite el seguimiento sistemático de la dinámica del conflicto. Desde un punto de vista práctico, este proceso es una parte integral de la seguridad social familiar, al permitir la identificación oportuna de riesgos y la intervención de asistencia profesional — psicológica, médica, social o legal.

2. *Verificación Médica y Psicológica*

La documentación médica constituye una forma clave de evidencia en los casos de violencia doméstica y, al mismo tiempo, sirve como medio de verificación del daño a la salud con fines de compensación y rehabilitación [13].

Cualquier certificado médico, conclusión de un médico, informe de examen médico-forense o evaluación realizada por psicólogos, psicoterapeutas o psiquiatras se reconoce como evidencia admisible.

Se debe prestar particular atención a la violencia psicológica, que puede no dejar huellas físicas visibles. Esta puede documentarse mediante:

- evaluaciones psicológicas;
- conclusiones emitidas por centros de apoyo social;
- informes de consulta de psicoterapeutas.

En la práctica europea (Polonia, Países Bajos, Alemania), estos documentos se consideran evidencia primaria en casos que involucren daño moral o la aplicación de medidas restrictivas.

Se recomienda recurrir a instituciones médicas autorizadas para emitir informes médicos oficiales, aptos para adjuntarse a materiales judiciales o presentaciones ante autoridades de tutela.

Por lo tanto, la verificación médica cumple una función dual:

- ***Probatoria (legal)*** - estableciendo hechos para la consideración judicial;

- **Protectora y rehabilitativa (médico-social)** - apoyando la salud, seguridad y recuperación de la víctima.

3. Apoyo Legal y Protección de los Derechos de las Víctimas

Un factor clave para la respuesta efectiva frente a los actos de violencia es la intervención oportuna de asistencia jurídica profesional. Todo ciudadano tiene el derecho de obtener consulta legal, apoyo en la redacción de declaraciones, demandas o peticiones, así como representación en los tribunales.

Se recomienda la participación de un abogado o asesor legal desde la etapa de presentación de la declaración inicial, ya que la precisión de la redacción influye directamente en la calificación del caso (administrativo o penal).

Un profesional del derecho está facultado para:

- presentar solicitudes para asegurar pruebas;
- iniciar la aplicación de medidas de protección o restrictivas;
- contactar a las autoridades de tutela en casos donde niños o personas legalmente incapacitadas estén en riesgo.

Los casos que involucren violencia económica (como control sobre los recursos financieros, privación del acceso a bienes o vivienda) o violencia psicológica (incluyendo humillación, aislamiento o manipulación) requieren también una respuesta legal adecuada para garantizar la protección de los derechos de las víctimas.

4. Mediación y Prevención de Conflictos Domésticos

No todo conflicto doméstico escala hacia la violencia. Por lo tanto, la tarea del sistema jurídico no consiste únicamente en castigar, sino también en prevenir la escalada [14].

Una de las herramientas más eficaces para este propósito es la mediación, un proceso voluntario de resolución de disputas que involucra a un facilitador neutral.

La mediación ha demostrado su eficacia en casos que incluyen:

- disputas familiares, como la división de bienes o cuestiones relativas a la crianza de los hijos;
- malentendidos entre familiares;
- conflictos derivados de factores psicológicos o domésticos.

En los países de la Unión Europea (Finlandia, Dinamarca, Alemania), la mediación se realiza en colaboración con las fuerzas de seguridad, los servicios sociales y psicólogos. Este enfoque integrado permite:

- evitar procedimientos judiciales formales;
- preservar las relaciones familiares;
- apoyar la recuperación psicológica y el bienestar de las partes involucradas.

5. Potencial Académico y Analítico de los Materiales Recopilados

Las declaraciones documentadas, protocolos, registros médicos y decisiones judiciales pueden ser utilizados no solo como evidencia en casos específicos, sino también como base empírica para investigaciones jurídicas y científicas.

Dichos materiales:

- facilitan el análisis de tendencias en la prevalencia de la violencia;
- permiten evaluar la eficacia de la legislación vigente;
- ayudan en el desarrollo de nuevos mecanismos legales y sociales para la protección de poblaciones vulnerables.

El procesamiento científico de casos reales garantiza un enfoque interdisciplinario, que combina aspectos jurídicos, médicos y sociales, lo cual es esencial en la jurisprudencia contemporánea y la política social [15].

6. Experiencia Europea y Digitalización de los Procesos de Respuesta

Los países de la Unión Europea han implementado con éxito mecanismos electrónicos para el registro de casos de violencia, incluyendo:

- registros electrónicos de denuncias ciudadanas;
- formularios estandarizados de evidencia;
- servicios de apoyo psicológico en línea [12].

En Lituania, República Checa y Francia, las bases de datos centralizadas de incidentes son accesibles para tribunales, organismos de aplicación de la ley y servicios sociales, garantizando una respuesta rápida y evitando la duplicación o el ocultamiento de información.

Para Ucrania, sería recomendable establecer una plataforma electrónica nacional para el monitoreo de la violencia doméstica, integrando datos del Ministerio del Interior, tribunales, autoridades de tutela y centros de salud. Esta plataforma aumentaría la transparencia, la exactitud estadística y la rapidez de la respuesta.

7. Aspectos Médico-Legales de la Atención a las Víctimas

7.1. Organización de la Atención Médica

Garantizar una atención médica sistemática es un factor crítico en los casos donde las víctimas presentan condiciones crónicas graves o neurológicas (por ejemplo, síndrome de Wolff–Parkinson–White, meningioma, estados postoperatorios).

En situaciones complejas, se recomienda un enfoque multidisciplinario, coordinando el diagnóstico y tratamiento entre múltiples instituciones médicas especializadas —cardiología, neurología y psiquiatría.

Mantener una documentación médica completa —incluyendo informes de alta, resultados de exámenes y reportes de consilium— no solo mejora la

calidad del tratamiento, sino que también posee relevancia legal para la interacción posterior con las autoridades de tutela.

7.2. Aspectos Legales y Sociales

La colaboración médico-legal es una condición necesaria para la protección efectiva de los derechos de las personas que han perdido la capacidad de decisión independiente o se encuentran en estado de crisis.

Las autoridades de tutela toman decisiones basadas en solicitudes fundamentadas, acompañadas de un paquete completo de evidencia médica.

El apoyo jurídico debe garantizar un equilibrio entre la protección de los derechos de la víctima y la prevención de abusos por parte de los cuidadores. Se recomienda una coordinación continua entre profesionales médicos, servicios sociales y especialistas legales, en línea con los estándares europeos para la asistencia integral a víctimas de violencia doméstica.

7.3. Recomendaciones para Situaciones de Crisis

En casos de complicaciones repentinas o empeoramiento de la salud, es necesario un algoritmo claro de actuación, que incluya:

- información de contacto de especialistas relevantes;
- rutas hacia el centro médico más cercano;
- copias de documentos médicos clave (informes de alta, certificados médicos, resultados de pruebas).

Simultáneamente, es crucial proporcionar apoyo psicológico a la víctima, especialmente durante rehabilitación prolongada. Estas medidas no solo incrementan la probabilidad de recuperación, sino que también previenen la re-traumatización.

8. Medidas Conclusivas

8.1. Medidas Médicas y Sociales

El apoyo médico y social integral para las víctimas reduce el riesgo de exacerbación de condiciones crónicas y previene lesiones. Las medidas recomendadas incluyen:

- Supervisión urgente en instituciones especializadas, por ejemplo, el Hospital Regional de Járkov para personas con enfermedades graves;
- Monitoreo regular de la salud, incluyendo evaluaciones cardiológicas, neurológicas y psiquiátricas;
- Minimización de riesgos domésticos mediante adaptación de los espacios habitacionales, control de objetos potencialmente peligrosos e integración de trabajadores sociales en la rutina diaria.

8.2. Medidas Legales

El apoyo jurídico debe garantizar la protección de los derechos de las víctimas y la legitimidad de las acciones de los cuidadores:

- Establecimiento de tutela y supervisión legal para individuos incapaces de garantizar su propia seguridad;
- Documentación de todos los eventos, incluyendo informes médicos, protocolos y explicaciones escritas que confirmen la necesidad de intervención;
- Obtención de permisos judiciales para exámenes, intervenciones y otras acciones que afecten la autonomía del individuo.

8.3. Medidas Organizacionales

La gestión efectiva del hogar y la interacción familiar ayudan a prevenir la escalada de conflictos:

- Distribución de responsabilidades domésticas sin coerción, asegurando la autonomía de los miembros de la familia y reduciendo los conflictos;
- Capacitación familiar sobre procedimientos de crisis, incluyendo algoritmos de actuación frente a complicaciones médicas o conductuales.

8.4. Medidas Profesionales y Comunitarias

La combinación de atención profesional con participación comunitaria proporciona un apoyo social integral a las víctimas:

- La integración de actividades comunitarias con las funciones de tutela ayuda a construir una red de apoyo y mejora la integración social;
- El equilibrio entre la participación social y la seguridad familiar previene la sobrecarga del cuidador y asegura la estabilidad en la atención.

Conclusiones

1. Distinción Fundamental entre Conflictos Domésticos y Violencia Doméstica

La distinción entre estos fenómenos es crucial para la práctica de los órganos de aplicación de la ley y el trabajo social. Un conflicto doméstico es de naturaleza situacional, limitado a malentendidos verbales o domésticos, y no implica daño sistemático.

La violencia doméstica, en cambio, se caracteriza por acciones regulares y sistemáticas de naturaleza física, psicológica, económica o sexual que generan una amenaza real para la vida, la salud o la libertad del individuo.

2. Documentación y Presentación de Materiales

La documentación sistemática y debidamente organizada de incidentes de conflicto y violencia constituye la base para el ejercicio de los derechos de las víctimas y garantiza un fundamento probatorio ante órganos judiciales y administrativos.

Dicha documentación incluye:

- declaraciones escritas;
- informes policiales;
- certificados médicos;
- informes de peritaje médico-legal;

- evaluaciones psicológicas;
- materiales de las autoridades de tutela.

3. *Utilización de la Experiencia Internacional y Metodologías Estandarizadas*

La integración de las prácticas de los estados europeos respecto a la documentación, apoyo médico y psicológico a víctimas demuestra la eficacia de un enfoque integral.

El uso de procedimientos estandarizados para la recolección de evidencia, mediación y asesoramiento psicológico mejora la efectividad de la prevención y la respuesta legal, promueve la cooperación interinstitucional y contribuye al establecimiento de un sistema de monitoreo de la violencia doméstica en Ucrania.

4. *Enfoque Integral para la Protección de la Víctima*

La protección efectiva de la vida, salud y derechos de las víctimas requiere la combinación sistémica de medidas médicas, legales y sociales.

La planificación oportuna del tratamiento, el monitoreo del estado de salud, el apoyo legal, la asistencia psicológica y la mediación familiar minimizan riesgos, garantizan la seguridad de la víctima y previenen la escalada del conflicto.

5. *Significado Científico y Analítico de los Materiales Recopilados*

Los casos documentados de violencia doméstica y conflictos domésticos constituyen un recurso valioso para la investigación empírica, la evaluación de la eficacia legislativa, el desarrollo de recomendaciones interdisciplinarias y la mejora de la conciencia jurídica de los profesionales.

6. *Significado Social y Práctico*

La documentación sistemática y la protección integral de las víctimas aseguran el funcionamiento efectivo del sistema legal y de las instituciones sociales, al mismo tiempo que fomentan una cultura de interacción no violenta, promueven la responsabilidad social y respaldan un enfoque humanista en la práctica de la aplicación de la ley.

References

1. Kovalenko, O. (2021). Derecho Administrativo: Aspectos Procesales. Kyiv: Yurinkom Inter.
2. Petrova, M. (2020). Práctica Judicial en Casos de Violencia Doméstica. Járkov: Ley y Sociedad.
3. Ivanenko, S. (2019). Asistencia Legal Gratuita en Ucrania: Experiencia y Desafíos. Kyiv: Centro de Asistencia Legal.
4. Consejo de Europa. (2011). Convención sobre la Prevención y Lucha contra la Violencia contra la Mujer y la Violencia Doméstica (Convención de Estambul). Estrasburgo: Consejo de Europa.

5. Tribunal Supremo de Ucrania. (2022). Práctica de Aplicación del Artículo 173-2 del Código de Infracciones Administrativas de Ucrania en Casos de Violencia Doméstica. Kyiv: Práctica Judicial.
6. Ministerio de Justicia de Ucrania. (2020). Recomendaciones Metodológicas sobre la Prevención y Respuesta a la Violencia Doméstica. Kyiv: Ministerio de Justicia de Ucrania.
7. Agencia de la Unión Europea para los Derechos Fundamentales. (2022). Violencia contra la Mujer: Encuesta a Nivel de la UE. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
8. Tribunal Europeo de Derechos Humanos. (2020). Jurisprudencia sobre la Protección contra la Violencia Doméstica. Estrasburgo: TEDH.
9. Rada Suprema de Ucrania. (2023). Código de Infracciones Administrativas de Ucrania (con Enmiendas y Adiciones).
10. Ministerio de Política Social de Ucrania. (2021). Recomendaciones Metodológicas para la Evaluación de Riesgos de Violencia Doméstica. Kyiv.
11. Kyselova, T. (2018). Mediación y Acceso a la Justicia en Ucrania. *Journal of Dispute Resolution*, 34(2), 115–132.
12. Consejo de Europa. (2021). Manual sobre el Derecho Europeo Relativo a la Violencia contra la Mujer y la Violencia Doméstica. Estrasburgo.
13. Boyko, I. (2022). Aspectos Médico-Legales de la Documentación de la Violencia Familiar. Kyiv: Academia Nacional de Ciencias Jurídicas de Ucrania.
14. Tymoshenko, I. (2020). La Mediación como Alternativa a la Resolución Judicial de Conflictos Familiares. Odesa: Pensamiento Jurídico.
15. ONU Mujeres. (2022). Violencia de Género y Sistemas de Respuesta Multidisciplinarios. Nueva York.

[FR_8]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Conflits Domestiques et Qualification de la Violence Domestique

Résumé

En Ukraine contemporaine, l'identification des erreurs procédurales fréquentes lors de la rédaction des procès-verbaux d'infractions administratives et de leur examen judiciaire est cruciale [1, 2]. L'analyse de cas concrets permet de formuler des recommandations pour améliorer l'efficacité des forces de l'ordre, de la magistrature et du système d'aide juridique gratuite [3].

Cet article examine une procédure administrative relative à une accusation de violence domestique, illustrant plusieurs enjeux. L'analyse juridique de cas spécifiques révèle non seulement des particularités procédurales, mais aussi des dimensions interdisciplinaires incluant médecine, protection sociale et droits humains. L'étude met en évidence les défis liés à l'instruction et à la preuve [4, 5], ainsi que les facteurs interdisciplinaires concernant l'évaluation médicale, le bien-être social et la protection des droits humains [6].

L'étude a analysé les documents d'une affaire judiciaire concernant des accusations de violence domestique, ainsi que l'évaluation juridique des explications écrites et des documents fournis reflétant l'état de santé et les conditions sociales des participants au conflit.

Mots-clés: conflit domestique, violence domestique, évaluation juridique, pratique judiciaire, documentation, droits humains, expérience internationale, Ukraine.

Introduction

La question des conflits et de la violence dans la société moderne présente une dimension sociale, psychologique et juridique complexe. Elle affecte directement la stabilité des relations familiales, la sécurité sociale et l'efficacité des forces de l'ordre [2, 3]. Une attention particulière est accordée à la distinction entre les conflits domestiques et les cas de violence domestique, chacun de ces phénomènes nécessitant une approche juridique spécifique, une régulation procédurale et une réponse sociale adaptée [1, 4].

Un conflit domestique se définit comme une situation résultant de divergences d'intérêts, de tensions émotionnelles ou de différences culturelles entre membres de la famille, voisins ou autres groupes sociaux. Ces conflits n'impliquent pas d'humiliation systématique, de contrôle ou de menace pour la vie, et sont généralement résolus par des mécanismes civils ou administratifs, incluant médiation, intervention des services sociaux ou conseil psychologique [6, 7].

La violence domestique constitue, en revanche, un phénomène systémique et répétitif englobant maltraitance physique, psychologique, économique et sexuelle, visant le contrôle ou la subjugation d'autrui.

La distinction entre conflits domestiques et violence domestique demeure un enjeu majeur de la pratique juridique et judiciaire ukrainienne contemporaine. Les malentendus familiaux sont parfois qualifiés d'infractions administratives en l'absence de violences avérées, ce qui risque de violer le principe de proportionnalité, d'éroder la confiance publique dans la protection juridique contre la violence et de discréditer le concept même de violence domestique [1, 5].

Section analytique

1. Interprétation juridique et pratique judiciaire

Dans la législation ukrainienne, la question de la violence domestique est réglementée de manière exhaustive. En revanche, les conflits domestiques ne relèvent pas toujours de la définition légale de la violence domestique. Ils résultent généralement de divergences d'opinion, de réactions émotionnelles ou de malentendus domestiques entre membres de la famille, proches ou voisins. Ces situations sont principalement traitées par des mécanismes de droit civil et administratif, incluant la médiation, le recours aux autorités de tutelle ou d'autres procédures pacifiques de résolution des conflits [1, 6].

La qualification juridique des conflits et des actes de violence repose non seulement sur la législation nationale, mais également sur les normes internationales relatives aux droits humains, notamment la Convention du Conseil de l'Europe sur la prévention et la lutte contre la violence à l'égard des femmes et la violence domestique [4]. La législation ukrainienne prévoit des procédures de réponse claires : contact avec la police, rédaction de procès-verbaux d'infractions administratives, dépôt de requêtes auprès du tribunal, obtention d'injonctions urgentes ou restrictives, et intervention des services sociaux pour l'évaluation des risques [10].

La pratique judiciaire en Ukraine souligne l'importance d'une documentation appropriée des situations conflictuelles, comprenant :

- l'enregistrement chronologique des événements ;
- la présentation de certificats médicaux ou de déclarations de témoins ;
- la conformité des documents soumis au droit procédural ;
- l'enregistrement correct des documents selon les procédures [5].

Les explications écrites soumises par les parties via le greffe du tribunal et certifiées par un sceau officiel acquièrent force légale dès leur acceptation par le tribunal. Ces documents peuvent servir de matériel probatoire pour l'analyse juridique et l'interprétation académique, contribuant ainsi au développement de la doctrine juridique dans le domaine de la protection des droits humains [11].

La pratique contemporaine montre une tendance à l'élargissement de l'interprétation du concept de « violence domestique », ce qui conduit parfois à confondre conflits domestiques et actes violents. Cette approche comporte le risque d'engager la responsabilité d'individus pour des actions dépourvues d'éléments de comportement systématique, d'intention ou de préjudice tels que définis par la loi. Ainsi, une distinction scientifiquement fondée entre les notions de « violence » et de « conflit » constitue une condition préalable essentielle à l'administration d'une justice équitable.

Une affaire judiciaire examinée dans la pratique d'un tribunal local de la région de Kharkiv en 2025 illustre une situation où un conflit domestique a été à tort qualifié de violence domestique. L'analyse des documents a révélé l'absence d'indices d'humiliation intentionnelle, de préjudice physique ou psychologique, ainsi que d'éléments de contrôle ou de menace.

Les parties étaient en relation matrimoniale de longue durée ; cependant, un membre de la famille souffrait d'un trouble neurologique affectant la stabilité émotionnelle. Le défendeur a reconnu l'existence de désaccords domestiques, tout en soulignant le caractère non violent des interactions et l'absence d'éléments constitutifs d'une infraction administrative. Les actions du défendeur visaient à protéger la vie et la sécurité des membres de la famille [9].

Le tribunal a établi que :

- l'absence de comportement systématique et d'intention exclut la qualification d'infraction administrative ;
- un conflit domestique nécessite un soutien socio-psychologique plutôt qu'une sanction juridique ;
- La conduite d'évaluations médico-sociales assure l'objectivité du contrôle judiciaire et limite la criminalisation excessive des relations familiales [4, 5].

Cette affaire constitue un exemple analytique de distinction méthodologique entre conflits domestiques et violence domestique. Elle démontre la nécessité d'une approche interdisciplinaire — combinant facteurs juridiques, psychologiques et sociaux — qui fonde la justice humaniste en Ukraine contemporaine.

2. Approches internationales

Dans la pratique internationale, la distinction entre « conflit » et « violence » constitue un principe fondamental d'application du droit et d'interprétation judiciaire [7]. Selon la Convention d'Istanbul (2011) [4] et la jurisprudence de la

Cour européenne des droits de l'homme, la violence domestique se définit comme l'infliction systématique et intentionnelle de préjudices physiques, psychologiques, sexuels ou économiques [4, 8].

Un conflit domestique, en revanche, est interprété comme une réaction situationnelle à un malentendu émotionnel ou domestique, susceptible d'être résolu par des moyens civils ou administratifs. La pratique juridique des États membres de l'Union européenne (notamment Allemagne, Pologne et République tchèque) confirme que la proportionnalité des preuves, la procédure légale systématique et l'évaluation impartiale des parties sont des conditions essentielles à un examen judiciaire objectif.

La qualification juridique des conflits et de la violence domestique doit reposer sur les principes d'objectivité, de proportionnalité et de respect des droits humains, garantissant un équilibre entre :

- la protection des victimes ;
- la prévention d'une ingérence excessive de l'État dans la vie privée ;
- et l'analyse scientifiquement fondée des facteurs socio-psychologiques.

La mise en œuvre de normes méthodologiques unifiées pour la documentation, l'évaluation et la qualification des situations conflictuelles contribuera à la formation d'une pratique judiciaire cohérente, à l'efficacité de la réponse juridique et au renforcement du modèle humaniste de justice en Ukraine [12].

3. Interprétation juridique des soins aux personnes atteintes de maladies graves

La question de la prise en charge des personnes atteintes de maladies graves ou chroniques - y compris celles présentant des troubles psychoneurologiques, cardiologiques ou comportementaux - se situe à l'intersection du droit médical, social et administratif.

L'évaluation juridique des actions des aidants doit se fonder sur les principes de proportionnalité, de documentation appropriée et de respect des droits humains. Les autorités administratives doivent apprécier non seulement les aspects juridiques de ces situations, mais également les risques médicaux qui déterminent le contexte comportemental et les réactions de la personne concernée.

3.1. État médical de la personne concernée

L'individu concerné présente plusieurs affections médicales graves formant un profil médico-psychologique complexe :

- **Syndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW)** - trouble cardiologique nécessitant une ablation par radiofréquence (RFA) ;
- **Méningiome anaplasique cérébral**, se manifestant par des épisodes de crises, d'agression et un contrôle comportemental altéré ;
- **Caractéristiques comportementales** incluant des épisodes d'agressivité, d'instabilité émotionnelle et d'irritabilité réactive.

Ces manifestations cliniques impactent directement les interactions sociales au sein de la famille, créant des conditions propices à des conflits qui, de par leur nature, ne constituent pas des actes de violence mais représentent des conséquences secondaires de troubles médicaux sous-jacents.

3.2. Particularités des soins et interaction avec les autorités

La prise en charge d'une personne présentant un profil médical aussi complexe nécessite une coordination systématique entre :

- **les établissements médicaux** - pour le diagnostic, la thérapie et le suivi de la santé ;
- **les services sociaux** - pour l'assistance et le soutien continu ;
- **les autorités de tutelle** - pour la formalisation juridique de la tutelle ;
- **les forces de l'ordre** - en cas de conflit ou de malentendu.

La documentation médicale et la fourniture d'avis médicaux d'experts possèdent une valeur probatoire légale dans les procédures judiciaires concernant la violence domestique, particulièrement lorsque les manifestations comportementales de l'individu sont d'origine médicale. Dans de tels cas, les documents médicaux — certificats, comptes rendus de sortie hospitalière et résultats d'examens psychoneurologiques ou cardiologiques — constituent non seulement des preuves complémentaires, mais aussi des éléments essentiels pour établir l'absence d'intention ou atténuer la responsabilité juridique.

Les forces de l'ordre et les tribunaux doivent tenir compte de l'étiologie médicale du comportement d'une personne, surtout lorsque les symptômes de la maladie peuvent provoquer des débordements émotionnels, de la désorientation, des réactions agressives ou une perte temporaire du contrôle comportemental. Une telle approche interdisciplinaire garantit une justice équitable, prévient la criminalisation des conditions de santé et respecte le principe de responsabilité individualisée.

3.3. Sécurité / Facteur de risque

La combinaison de symptômes cardiologiques, neurologiques et comportementaux crée une situation clinique et sociale complexe dans laquelle l'évaluation juridique des actions d'un tuteur ou d'un proche doit reposer non seulement sur des critères éthiques et procéduraux, mais également sur la causalité médicale. Cela implique d'établir un lien scientifiquement fondé entre l'état de santé de l'individu et sa capacité à percevoir la réalité, évaluer les risques, réagir au stress et assumer ses responsabilités sociales ou familiales. En pratique, une telle évaluation nécessite une approche interdisciplinaire combinant expertise médicale, évaluation psychologique et interprétation juridique. L'objectif est de garantir que toute décision prise au nom de la personne reflète sa compétence cognitive et émotionnelle réelle, et non des hypothèses ou jugements subjectifs, alignant ainsi les

mesures de tutelle ou d'assistance sur les principes de droits humains, de dignité et de responsabilité proportionnée.

Le niveau de risque pour la personne concernée peut être représenté par un modèle fonctionnel prenant en compte un ensemble de facteurs (Formule 1) :

$$R = f(M, P, C) = M + P + C \quad (1)$$

Où :

M - facteurs médicaux (WPW, méningiome)

P - facteurs comportementaux (agressivité, réactivité émotionnelle)

C - facteurs domestiques (situations stressantes, conditions de vie)

Source : *Élaboration de l'auteur*

Ce modèle permet l'évaluation quantitative des risques d'incidents domestiques, susceptibles d'être à tort qualifiés d'actes violents (Figure 1).

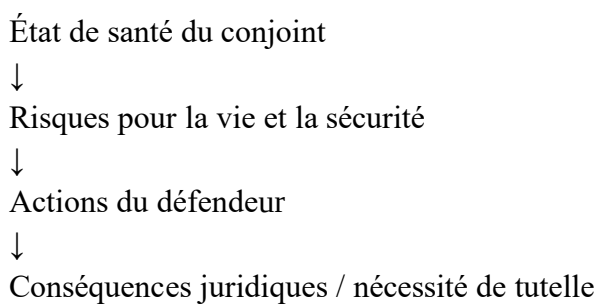


Figure 1. Indicateurs de situations de stress

Dans de tels cas, une interprétation formelle des actions peut conduire à des conclusions erronées sur l'intention ou l'illégalité du comportement. Ainsi, les examens médico-légaux et psychologiques-psychiatriques deviennent cruciaux pour déterminer les limites de la responsabilité, la bonne foi et l'objectivité des participants à un conflit domestique ou familial.

Entre 2005 et 2009, dans une famille où résidait le frère de l'épouse présentant un handicap, des épisodes de comportements agressifs ont été observés et initialement interprétés comme des conflits domestiques. Cependant, des examens médicaux ultérieurs ont révélé la présence de troubles neurologiques et cardiologiques ayant un impact direct sur la stabilité émotionnelle et les réponses comportementales de l'individu. Ces manifestations incluaient impulsivité, réactions inadéquates aux stimuli externes et désorientation périodique, indiquant la nature organique des changements comportementaux.

Des conclusions d'experts ont ensuite confirmé que ces manifestations agressives n'étaient ni intentionnelles ni criminelles, mais résultaient de dysfonctionnements physiologiques nécessitant une intervention médicale plutôt qu'une répression juridique.

L'analyse du parcours clinique a mis en évidence des périodes d'erreurs diagnostiques, des effets secondaires pharmacologiques et la nécessité d'une surveillance neurologique complète (Tableau 1).

Tableau 1. Chronologie des événements cliniques, diagnostics et traitements

Année	Événement / Diagnostic	Principaux symptômes	Méthodes diagnostiques	Traitement / Résultat
1990	Appendicectomie	Perte de conscience, convulsions	Données archivistiques indisponibles	Arrêt circulatoire suspecté, modifications post-hypoxiques
1991	Diagnostic initial du syndrome WPW	Palpitations, dyspnée, tachycardie	ECG, examen clinique	Pharmacothérapie selon standards modernes
1994	Diagnostic confirmé	Palpitations, dyspnée, tachycardie	ECG, échocardiographie	Suivi ambulatoire, intervention cardiologique non invasive
2002–2005	Erreur de diagnostic « épilepsie »	Crises, perte de conscience	Sans EEG ni neuroimagerie	Carbamazépine → augmentation des arythmies, altération cognitive
2025	Évaluation actuelle	Paroxysmes, évanouissements, symptômes végétatifs	ECG, EEG, test thermique	AVRT confirmé, hyperréactivité vagale détectée, carbamazépine arrêtée

Source : Élaboration de l'auteur

Dans de tels cas, se pose un défi interdisciplinaire complexe : déterminer la frontière entre comportement pathologique lié à un état de santé et conduite illégale soumise à évaluation juridique. La pratique policière en Ukraine indique que l'absence de conclusions médicales opportunes ou d'examens psychoneurologiques complets conduit souvent à une classification erronée de ces incidents comme violence domestique.

Cela crée un risque de criminalisation d'individus présentant des troubles neurologiques ou psychosomatiques, violant ainsi le principe de responsabilité individualisée. Par conséquent, un élément clé pour prévenir ces erreurs juridiques est l'établissement d'une coordination efficace entre institutions médicales, autorités de protection sociale et forces de l'ordre, garantissant un équilibre entre la protection de la victime et le respect des droits des personnes présentant des affections chroniques.

Ces observations soulignent la nécessité d'une intégration médico-légale, selon laquelle les résultats des observations cliniques doivent être pris en compte dans

l'évaluation juridique des actions des parties, notamment lorsque le conflit peut avoir une origine mixte - à la fois sociale-comportementale et médicale.

Recommandations pratiques

1. Documentation des conflits et des actes de violence

Une documentation correcte des conflits et des actes de violence constitue une condition préalable fondamentale pour une protection juridique efficace, garantissant l'objectivité des enquêtes et la sauvegarde des droits de tous les participants à la relation juridique. L'enregistrement systématique, complet et juridiquement exact des événements détermine si la victime bénéficie d'une protection réelle ou si l'enquête reste formelle, permettant au responsable d'échapper à sa responsabilité.

La documentation doit être réalisée par écrit et inclure :

- la date, l'heure et le lieu de l'événement ;
- les informations d'identification des participants (y compris les témoins, si possible) ;
- la description des actions ou déclarations spécifiques ;
- des preuves visuelles ou audio (photographies, vidéos, enregistrements audio) pouvant être jointes à une déclaration ou à un protocole.

Ces documents peuvent prendre la forme de :

- déclaration aux forces de l'ordre (Police nationale ou Bureau du Procureur) ;
- recours aux autorités de tutelle, notamment dans les cas impliquant des enfants, des personnes handicapées ou nécessitant des soins continus ;
- explication écrite enregistrée auprès du greffe de l'institution compétente, de l'établissement médical ou du tribunal.

Une fois enregistrés, ces documents acquièrent le statut légal de preuve officielle, et leur absence peut empêcher la constatation d'une violation devant le tribunal. Chaque élément de documentation — numéro d'enregistrement, tampon, signature d'un fonctionnaire autorisé — revêt une importance pour les procédures probatoires ultérieures.

En complément de la documentation officielle, il est recommandé de tenir un journal personnel des événements, reflétant :

- la chronologie des épisodes conflictuels ;
- l'évolution de l'état émotionnel de la victime ;
- les réactions des témoins ou voisins ;
- les actions des forces de l'ordre ou des services sociaux suite aux signalements.

Cet outil est activement utilisé dans les pays de l'Union européenne — notamment aux Pays-Bas, en Belgique, en Suède et en Allemagne — comme mesure probatoire complémentaire aux protocoles officiels, rapports médicaux et conclusions d'expertises médico-psychologiques. Dans la pratique de la Cour

européenne des droits de l'homme (CEDH), tout document systématiquement organisé contenant des enregistrements séquentiels effectués par la victime ou son représentant est également reconnu comme preuve, à condition d'être corroboré par d'autres éléments.

L'absence de preuves correctement préparées entraîne souvent :

- le refus d'ouvrir une procédure pénale ;
- le classement des affaires pour insuffisance de preuves ;
- la requalification des actes en conflit domestique, réduisant ainsi le niveau de responsabilité juridique de l'auteur.

Ainsi, la documentation revêt non seulement une signification juridique, mais aussi une fonction préventive : elle constitue la base probatoire pour les tribunaux, les autorités de tutelle et les établissements médicaux, tout en permettant un suivi systématique de la dynamique de la situation conflictuelle. Sur le plan pratique, ce processus fait partie intégrante de la sécurité sociale familiale, permettant l'identification rapide des risques et l'intervention d'assistances professionnelles — psychologique, médicale, sociale ou juridique.

2. *Vérification médicale et psychologique*

La documentation médicale constitue une forme de preuve clé dans les affaires de violence domestique et sert simultanément à vérifier les dommages pour des fins de réparation et de réhabilitation [13].

Tout certificat médical, conclusion de médecin, rapport d'expertise médico-légale et évaluation par psychologues, psychothérapeutes ou psychiatres est reconnu comme preuve admissible.

Une attention particulière doit être portée à la violence psychologique, qui peut ne laisser aucune trace physique visible. Elle peut être documentée par :

- la réalisation d'une évaluation psychologique ;
- l'obtention de conclusions des centres de soutien social ;
- la production de rapports de consultation psychothérapeutique.

Dans la pratique européenne (Pologne, Pays-Bas, Allemagne), ces documents sont considérés comme des preuves principales dans les affaires de préjudice moral ou d'application de mesures restrictives. Il est recommandé de s'adresser à des institutions médicales habilitées à délivrer des rapports officiels, susceptibles d'être joints aux dossiers judiciaires ou aux soumissions aux autorités de tutelle.

Ainsi, la vérification médicale remplit une double fonction :

- **Probatoire (juridique)** - établir les faits pour examen judiciaire ;
- **Protectrice et réhabilitative (médico-sociale)** - soutenir la santé, la sécurité et la récupération de la victime.

3. *Assistance juridique et protection des droits des victimes*

Un facteur clé dans la réponse efficace aux actes de violence est l'engagement rapide d'une assistance juridique professionnelle. Tout citoyen a le droit de recevoir une consultation juridique, un soutien pour la rédaction de déclarations, réclamations, pétitions, ainsi qu'une représentation devant les tribunaux.

Le recours à un avocat ou conseiller juridique est recommandé dès le dépôt de la déclaration initiale, car la précision de la formulation affecte directement la qualification de l'affaire (administrative ou pénale).

Un professionnel du droit est habilité à :

- déposer des requêtes pour sécuriser des preuves ;
- initier l'application de mesures de protection ou restrictives ;
- contacter les autorités de tutelle dans les cas où des enfants ou des personnes juridiquement incapables sont à risque.

Les affaires impliquant une violence économique (contrôle des finances, privation d'accès à des biens ou au logement) ou psychologique (humiliation, isolement, manipulation) nécessitent également une réponse juridique appropriée afin de garantir la protection des droits des victimes.

4. Médiation et prévention des conflits domestiques

Tous les conflits domestiques n'évoluent pas vers la violence. La mission du système juridique consiste donc non seulement à punir, mais aussi à prévenir l'escalade [14].

L'un des outils les plus efficaces à cet égard est la médiation — un processus volontaire de résolution des différends impliquant un facilitateur tiers neutre.

La médiation s'est révélée efficace dans les cas suivants :

- différends familiaux, tels que la répartition des biens ou les questions d'éducation des enfants ;
- malentendus entre proches ;
- conflits résultant de facteurs psychologiques ou domestiques.

Dans les pays de l'Union européenne (Finlande, Danemark, Allemagne), la médiation est réalisée en partenariat avec les forces de l'ordre, les services sociaux et les psychologues. Cette approche intégrée permet :

- d'éviter les procédures judiciaires formelles ;
- de préserver les relations familiales ;
- de favoriser la récupération psychologique et le soutien des parties impliquées.

5. Potentiel académique et analytique des matériaux collectés

Les déclarations documentées, protocoles, dossiers médicaux et décisions judiciaires peuvent être utilisés non seulement comme preuves dans des affaires

spécifiques, mais également comme fondement empirique pour la recherche juridique et scientifique.

Ces matériaux permettent de :

- analyser les tendances de prévalence de la violence ;
- évaluer l'efficacité de la législation existante ;
- contribuer au développement de nouveaux mécanismes juridiques et sociaux pour la protection des populations vulnérables.

Le traitement scientifique de cas réels garantit une approche interdisciplinaire, combinant aspects juridiques, médicaux et sociaux, essentielle dans la jurisprudence contemporaine et la politique sociale [15].

6. *Expérience européenne et numérisation des processus de réponse*

Les pays de l'Union européenne ont mis en place avec succès des mécanismes électroniques pour l'enregistrement des actes de violence, notamment :

- registres électroniques des signalements citoyens ;
- formulaires de preuve standardisés ;
- services de soutien psychologique en ligne [12].

En Lituanie, en République tchèque et en France, les bases de données centralisées sur les incidents sont accessibles aux tribunaux, forces de l'ordre et services sociaux, assurant une réponse rapide et empêchant la duplication ou la dissimulation d'informations.

Pour l'Ukraine, il serait recommandé de créer une plateforme électronique nationale de suivi de la violence domestique, intégrant les données du ministère de l'Intérieur, des tribunaux, des autorités de tutelle et des établissements de santé. Une telle plateforme améliorerait la transparence, la précision statistique et la rapidité de la réponse.

7. *Aspects médico-légaux de la prise en charge des victimes*

7.1. *Organisation des soins médicaux*

Assurer une prise en charge médicale systématique constitue un facteur critique dans les cas où les victimes souffrent de maladies chroniques ou neurologiques graves (par exemple, syndrome WPW, méningiome, états postopératoires).

Dans des situations complexes, une approche multidisciplinaire est recommandée, coordonnant le diagnostic et le traitement entre plusieurs établissements médicaux spécialisés — cardiologie, neurologie et psychiatrie. La tenue d'une documentation médicale complète — incluant comptes rendus de sortie, résultats d'examens et rapports de consilium — améliore non seulement la qualité des soins, mais revêt également une signification juridique pour les interactions ultérieures avec les autorités de tutelle.

7.2. Aspects juridiques et sociaux

La collaboration médico-légale constitue une condition nécessaire pour la protection efficace des droits des personnes ayant perdu leur capacité de décision autonome ou se trouvant en état de crise.

Les autorités de tutelle prennent leurs décisions sur la base de requêtes dûment étayées, accompagnées d'un dossier complet de preuves médicales. L'assistance juridique doit garantir un équilibre entre la protection des droits de la victime et la prévention des abus de la part des aidants. Une coordination continue entre professionnels médicaux, services sociaux et spécialistes juridiques est recommandée, conformément aux normes européennes d'assistance globale aux victimes de violence domestique.

7.3. Recommandations pour les situations de crise

En cas de complications soudaines ou de dégradation de l'état de santé, un algorithme d'action clair est nécessaire, comprenant :

- les coordonnées des spécialistes compétents ;
- les itinéraires vers l'établissement médical le plus proche ;
- des copies des documents médicaux essentiels (comptes rendus de sortie, certificats médicaux, résultats d'examens).

Parallèlement, il est crucial d'assurer un soutien psychologique à la victime, en particulier lors de réhabilitations prolongées. Ces mesures augmentent non seulement les chances de rétablissement, mais préviennent également la re-traumatisation.

8. Mesures conclusives

8.1. Mesures médicales et sociales

Un soutien médical et social complet pour les victimes réduit le risque d'aggravation de conditions chroniques et prévient les blessures. Les mesures recommandées incluent :

- supervision urgente dans des établissements spécialisés, par exemple l'Hôpital régional de Kharkiv pour les personnes atteintes de maladies graves ;
- suivi régulier de la santé, incluant évaluations cardiologiques, neurologiques et psychiatriques ;
- réduction des risques domestiques par l'adaptation des espaces de vie, le contrôle des objets potentiellement dangereux et l'intégration de travailleurs sociaux dans les routines quotidiennes.

8.2. Mesures juridiques

L'assistance juridique doit garantir la protection des droits des victimes et la légitimité des actions des aidants :

- établissement de tutelle et de surveillance légale pour les personnes incapables d'assurer leur propre sécurité ;

- documentation de tous les événements, y compris rapports médicaux, protocoles et explications écrites confirmant la nécessité d'une intervention ;
- obtention des autorisations judiciaires pour examens, interventions et autres actions affectant l'autonomie de l'individu.

8.3. Mesures organisationnelles

Une gestion efficace du foyer et des interactions familiales contribue à prévenir l'escalade des conflits :

- répartition des responsabilités domestiques sans coercition, assurant l'autonomie des membres de la famille et réduisant les conflits ;
- formation familiale sur les procédures de crise, incluant des algorithmes de réponse aux complications médicales ou comportementales.

8.4. Mesures professionnelles et communautaires

La combinaison des soins professionnels et de l'engagement communautaire offre un soutien social complet aux victimes :

- intégration des activités communautaires avec les responsabilités de tutelle pour constituer un réseau de soutien et renforcer l'intégration sociale ;
- équilibre entre engagement social et sécurité familiale pour prévenir la surcharge des aidants et assurer la stabilité de la prise en charge.

Conclusions

1. Distinction fondamentale entre conflits domestiques et violence domestique

La distinction entre ces phénomènes est cruciale pour la pratique des forces de l'ordre et le travail social. Un conflit domestique est de nature situationnelle, limité à des malentendus verbaux ou domestiques, et n'implique pas de préjudice systématique. En revanche, la violence domestique se caractérise par des actions régulières et systématiques de nature physique, psychologique, économique ou sexuelle, constituant une menace réelle pour la vie, la santé ou la liberté de l'individu.

2. Documentation et transmission des matériaux

Une documentation systématique et correctement organisée des incidents de conflit et de violence constitue la base pour la réalisation des droits des victimes et l'établissement d'une preuve auprès des instances judiciaires et administratives. Cette documentation inclut : déclarations écrites, rapports de police, certificats médicaux, rapports d'expertise médico-légale, évaluations psychologiques et matériaux fournis par les autorités de tutelle.

3. Exploitation de l'expérience internationale et des méthodologies standardisées

L'intégration des pratiques des États européens concernant la documentation, l'accompagnement médical et psychologique des victimes démontre l'efficacité d'une approche globale. L'utilisation de procédures standardisées pour la collecte des preuves, la médiation et le conseil

psychologique améliore l'efficacité de la prévention et de la réponse juridique, favorise la coopération interinstitutionnelle et contribue à la mise en place d'un système de suivi de la violence domestique en Ukraine.

4. Approche globale de protection des victimes

La protection effective de la vie, de la santé et des droits des victimes nécessite la combinaison systémique de mesures médicales, juridiques et sociales. La planification opportune des traitements, le suivi de l'état de santé, l'assistance juridique, le soutien psychologique et la médiation familiale minimisent les risques, garantissent la sécurité des victimes et préviennent l'escalade des conflits.

5. Signification scientifique et analytique des matériaux collectés

Les cas documentés de violence domestique et de conflits domestiques constituent une ressource précieuse pour la recherche empirique, l'évaluation de l'efficacité législative, le développement de recommandations interdisciplinaires et le renforcement de la culture juridique des professionnels.

6. Signification sociale et pratique

La documentation systématique et la protection complète des victimes assurent le fonctionnement efficace du système juridique et des institutions sociales, tout en favorisant une culture d'interaction non violente, en promouvant la responsabilité sociale et en soutenant une approche humaniste dans la pratique des forces de l'ordre.

Références

1. Kovalenko, O. (2021). Droit administratif : aspects procéduraux. Kyiv : Yurinkom Inter.
2. Petrova, M. (2020). Pratique judiciaire dans les affaires de violence domestique. Kharkiv : Law and Society.
3. Ivanenko, S. (2019). Aide juridique gratuite en Ukraine : expériences et défis. Kyiv : Legal Aid Center.
4. Conseil de l'Europe. (2011). Convention sur la prévention et la lutte contre la violence à l'égard des femmes et la violence domestique (Convention d'Istanbul). Strasbourg : Conseil de l'Europe.
5. Cour suprême d'Ukraine. (2022). Pratique d'application de l'article 173-2 du Code des infractions administratives de l'Ukraine dans les affaires de violence domestique. Kyiv : Pratique judiciaire.
6. Ministère de la Justice de l'Ukraine. (2020). Recommandations méthodologiques sur la prévention et la réponse à la violence domestique. Kyiv : Ministère de la Justice de l'Ukraine.

7. Agence de l'Union européenne pour les droits fondamentaux. (2022). Violence à l'égard des femmes : enquête à l'échelle de l'UE. Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne.
8. Cour européenne des droits de l'homme. (2020). Jurisprudence relative à la protection contre la violence domestique. Strasbourg : CEDH.
9. Verkhovna Rada d'Ukraine. (2023). Code des infractions administratives de l'Ukraine (avec amendements et additions).
10. Ministère de la Politique sociale de l'Ukraine. (2021). Recommandations méthodologiques pour l'évaluation des risques de violence domestique. Kyiv.
11. Kyselova, T. (2018). Médiation et accès à la justice en Ukraine. *Journal of Dispute Resolution*, 34(2), 115–132.
12. Conseil de l'Europe. (2021). Manuel sur le droit européen relatif à la violence à l'égard des femmes et à la violence domestique. Strasbourg.
13. Boyko, I. (2022). Aspects médico-légaux de la documentation de la violence familiale. Kyiv : Académie nationale des sciences juridiques d'Ukraine.
14. Tymoshenko, I. (2020). La médiation comme alternative à la résolution judiciaire des conflits familiaux. Odesa : Legal Thought.
15. ONU Femmes. (2022). Violence fondée sur le genre et systèmes de réponse multidisciplinaires. New York.

[DE_8]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Häusliche Konflikte und Einstufung Häuslicher Gewalt

Zusammenfassung

In der modernen Verwaltungs- und Rechtspraxis der Ukraine gewinnt die Identifizierung typischer Verfahrensfehler bei der Erstellung von Verwaltungsdeliktsprotokollen und deren gerichtlicher Prüfung zunehmend an Bedeutung [1, 2]. Die Analyse konkreter Fallstudien ermöglicht praxisnahe Empfehlungen zur Verbesserung der Arbeit von Strafverfolgungsbehörden, der Justiz und des Systems kostenloser Rechtsberatung [3].

Dieser Beitrag untersucht einen Verwaltungsfall im Zusammenhang mit dem Vorwurf häuslicher Gewalt, der mehrere problematische Aspekte verdeutlicht. Die rechtliche Analyse einzelner Fälle im Verwaltungsrecht zeigt nicht nur verfahrensrechtliche Besonderheiten, sondern auch interdisziplinäre Dimensionen, insbesondere in Medizin, Sozialschutz und Menschenrechtsfragen. Der Fokus liegt auf Verfahrens- und Beweisfragen in einem Fall häuslicher Gewalt [4, 5], wobei die rechtliche Bewertung auch medizinische, soziale und menschenrechtliche Faktoren berücksichtigt [6].

Die Studie analysierte die Materialien eines Gerichtsfalls im Zusammenhang mit Vorwürfen häuslicher Gewalt sowie die rechtliche Bewertung eingereichter schriftlicher Erklärungen und Unterlagen, die den Gesundheitszustand und die sozialen Bedingungen der Konfliktparteien widerspiegeln.

Schlüsselwörter: Hauskonflikt, häusliche Gewalt, rechtliche Bewertung, Rechtsprechung, Dokumentation, Menschenrechtsschutz, internationale Erfahrungen, Ukraine.

Einleitung

Konflikte und Gewalt in der modernen Gesellschaft besitzen eine vielschichtige soziale, psychologische und rechtliche Dimension. Sie beeinflussen unmittelbar die Stabilität familiärer Beziehungen, die soziale Sicherheit und die Effektivität der Strafverfolgung [2, 3]. Besonders wichtig ist die Differenzierung zwischen Hauskonflikten und häuslicher Gewalt, da beide Phänomene

unterschiedliche rechtliche Ansätze, Verfahrensregelungen und gesellschaftliche Reaktionen erfordern [1, 4].

Ein Hauskonflikt entsteht aus Interessenkonflikten, emotionalen Spannungen oder kulturellen Differenzen zwischen Familienmitgliedern, Nachbarn oder anderen sozialen Gruppen. Solche Konflikte beinhalten in der Regel keine systematische Demütigung, Kontrolle oder Lebensbedrohung und werden meist über zivil- oder verwaltungsrechtliche Mechanismen gelöst, etwa Mediation, soziale Dienste oder psychologische Beratung [6, 7].

Häusliche Gewalt hingegen ist ein systematisches, wiederholtes Phänomen, das körperliche, psychische, wirtschaftliche und sexuelle Misshandlungen umfasst, mit dem Ziel, eine andere Person zu kontrollieren, zu zwingen oder zu unterwerfen.

Die Abgrenzung von Hauskonflikten und häuslicher Gewalt zählt zu den umstrittensten Fragen in der ukrainischen Strafverfolgungs- und Rechtspraxis. Alltägliche familiäre Missverständnisse werden oft als Verwaltungsdelikte behandelt, obwohl keine Gewaltindikatoren vorliegen. Dies gefährdet das Verhältnismäßigkeitsprinzip, untergräbt das öffentliche Vertrauen in den Schutz vor Gewalt und kann zur Diskreditierung des Konzepts häuslicher Gewalt führen — ein Problem von hoher Relevanz für Rechtssystem und Sozialpolitik [1, 5].

Analytischer Abschnitt

1. Rechtliche Auslegung und Rechtsprechung

In der ukrainischen Gesetzgebung ist häusliche Gewalt umfassend geregelt. Hauskonflikte fallen hingegen nicht immer unter diese Definition. Sie entstehen meist aus Meinungsverschiedenheiten, emotionalen Reaktionen oder alltäglichen Missverständnissen zwischen Familienmitgliedern, Verwandten oder Nachbarn und werden überwiegend durch zivil - oder verwaltungsrechtliche Mechanismen wie Mediation oder Einbeziehung sozialer Dienste gelöst [1, 6].

Die rechtliche Einordnung von Konflikten und Gewalthandlungen orientiert sich nicht nur an nationalen Vorschriften, sondern auch an internationalen Menschenrechtsstandards, insbesondere an der Konvention des Europarates zur Verhütung von Gewalt gegen Frauen und häuslicher Gewalt [4]. Ukrainisches Recht sieht klare Reaktionsverfahren vor: Kontaktaufnahme mit der Polizei, Erstellung von Verwaltungsdeliktsprotokollen, gerichtliche Anträge, Erlangung dringlicher Anordnungen und Einbindung sozialer Dienste [10].

Die Rechtsprechung betont die Bedeutung ordnungsgemäßer Dokumentation:

- Ereignischronologie;
- ärztliche Atteste oder Zeugenaussagen;
- Verfahrenskonformität der Unterlagen;
- ordnungsgemäße Registrierung [5].

Schriftliche, amtlich beglaubigte Erklärungen erlangen mit Annahme durch das Gericht Rechtskraft und dienen als Beweismittel für rechtliche Analysen und wissenschaftliche Auslegung [11].

Die Praxis zeigt eine Tendenz zur erweiterten Interpretation von „häuslicher Gewalt“, wodurch Hauskonflikte mit Gewalthandlungen vermischt werden können. Dies birgt das Risiko unrechtmäßiger Verantwortlichkeit. Eine wissenschaftlich fundierte Trennung von „Gewalt“ und „Konflikt“ ist entscheidend für gerechte Rechtsprechung.

Ein Gerichtsfall, der im Jahr 2025 in der Praxis eines örtlichen Gerichts in der Region Charkiw geprüft wurde, veranschaulicht eine Situation, in der ein häuslicher Konflikt fälschlicherweise als häusliche Gewalt eingestuft wurde. Die Analyse der Unterlagen zeigte keine Anzeichen für absichtliche Demütigung, körperlichen oder psychischen Schaden oder Elemente von Kontrolle oder Drohungen.

Die Parteien waren langjährig verheiratet; ein Familienmitglied litt an einer neurologischen Erkrankung, die die emotionale Stabilität beeinflusste. Der Beklagte erkannte familiäre Meinungsverschiedenheiten an, betonte jedoch die gewaltfreie Natur der Interaktionen und das Fehlen strafbarer Handlungen. Ziel war der Schutz von Leben und Sicherheit der Familienangehörigen [9].

Das Gericht befand:

- Fehlendes systematisches Verhalten und Vorsatz schließen die Einstufung als Verwaltungsdelikt aus;
- Hauskonflikte erfordern sozio-psychologische Unterstützung statt Sanktionen;
- Medizinische und soziale Bewertungen sichern Objektivität und verhindern übermäßige Kriminalisierung familiärer Beziehungen [4, 5].

Dieser Fall illustriert die methodische Unterscheidung zwischen Hauskonflikten und häuslicher Gewalt und zeigt die Notwendigkeit eines interdisziplinären Ansatzes, der rechtliche, psychologische und soziale Faktoren kombiniert - Grundlage humanistischer Rechtsprechung in der modernen Ukraine.

2. Internationale Ansätze

In der internationalen Praxis stellt die Unterscheidung zwischen den Konzepten „Konflikt“ und „Gewalt“ ein fundamentales Prinzip der Strafverfolgung und gerichtlichen Auslegung dar [7]. Gemäß der Istanbul-Konvention (2011) [4] sowie der Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofs für Menschenrechte wird häusliche Gewalt als systematische und vorsätzliche Zufügung von körperlichem, psychischem, sexuellem oder wirtschaftlichem Schaden definiert [4, 8].

Ein Hauskonflikt hingegen wird als situative Reaktion auf emotionale oder häusliche Missverständnisse interpretiert, die über zivil- oder verwaltungsrechtliche Mechanismen gelöst werden. Die Rechtspraxis der Mitgliedstaaten der Europäischen Union (insbesondere Deutschland, Polen und Tschechien) bestätigt,

dass Beweisproportionalität, systematisches Verfahren und unparteiische Bewertung der Parteien wesentliche Voraussetzungen für eine objektive gerichtliche Prüfung sind.

Die rechtliche Qualifikation von Konflikten und häuslicher Gewalt muss auf den Grundsätzen der Objektivität, Verhältnismäßigkeit und Achtung der Menschenrechte beruhen und ein Gleichgewicht zwischen folgenden Aspekten sicherstellen:

- Schutz der Opfer;
- Vermeidung übermäßiger staatlicher Eingriffe in das Privatleben;
- wissenschaftlich fundierte Analyse sozio-psychologischer Faktoren.

Die Implementierung einheitlicher methodischer Standards für Dokumentation, Bewertung und Qualifikation von Konfliktsituationen wird zur Bildung einer konsistenten Rechtsprechung beitragen, die Effektivität der rechtlichen Reaktion erhöhen und das humanistische Rechtsmodell in der Ukraine stärken [12].

3. *Rechtliche Auslegung der Betreuung von Personen mit schweren Erkrankungen*

Die Frage der Betreuung von Personen mit schweren oder chronischen Erkrankungen - einschließlich psychoneurologischer, kardiologischer oder Verhaltensstörungen - befindet sich an der Schnittstelle von Medizin-, Sozial- und Verwaltungsrecht.

Die rechtliche Bewertung der Handlungen von Betreuungspersonen muss auf den Grundsätzen der Verhältnismäßigkeit, ordnungsgemäßen Dokumentation und Achtung der Menschenrechte beruhen. Verwaltungsbehörden sollten nicht nur die rechtlichen Aspekte solcher Situationen prüfen, sondern auch die medizinischen Risiken berücksichtigen, die das Verhaltensprofil und die Reaktionen der betreuten Person bestimmen.

3.1. *Medizinischer Zustand der betroffenen Person*

Die betroffene Person leidet an mehreren schweren medizinischen Erkrankungen, die zusammen ein komplexes medizinisch-psychologisches Profil bilden:

- **Wolff–Parkinson–White (WPW)-Syndrom** - eine kardiologische Störung, die eine Radiofrequenzablation (RFA) erfordert;
- **Anaplastisches Meningeom des Gehirns**, manifestiert durch Anfälle, Aggressionen und eingeschränkte Verhaltenskontrolle;
- **Verhaltensmerkmale** mit Episoden von Aggression, emotionaler Instabilität und reaktiver Reizbarkeit.

Diese klinischen Manifestationen beeinflussen direkt soziale Interaktionen innerhalb der Familie und schaffen Voraussetzungen für Konflikte, die per se

keine Gewalthandlungen darstellen, sondern sekundäre Konsequenzen der zugrunde liegenden Erkrankungen sind.

3.2. *Spezifika der Betreuung und Interaktion mit Behörden*

Die Betreuung einer Person mit einem derart komplexen medizinischen Profil erfordert systematische Koordination zwischen:

- **medizinischen Einrichtungen** - für Diagnostik, Therapie und Gesundheitsüberwachung;
- **sozialen Diensten** - für Unterstützung und kontinuierliche Betreuung;
- **Vormundschafts- und Pflegschaftsbehörden** - für die rechtliche Formalisierung der Betreuung;
- **Strafverfolgungsbehörden** - bei Konflikten oder Missverständnissen.

Die Dokumentation des medizinischen Zustands und die Bereitstellung medizinischer Gutachten besitzen rechtliche Beweiskraft in Gerichtsverfahren im Zusammenhang mit häuslicher Gewalt, insbesondere wenn das Verhalten der Person medizinisch bedingt ist. In solchen Fällen dienen medizinische Unterlagen — einschließlich Atteste, Entlassungsberichte und Ergebnisse psychoneurologischer oder kardiologischer Untersuchungen — nicht nur als ergänzende Beweismittel, sondern als zentrale Elemente zur Feststellung des Fehlens von Vorsatz oder zur Milderung der rechtlichen Verantwortung.

Strafverfolgungsbehörden und Gerichte müssen die medizinische Ätiologie des Verhaltens berücksichtigen, insbesondere wenn Krankheitssymptome emotionale Ausbrüche, Desorientierung, aggressive Reaktionen oder vorübergehenden Kontrollverlust über das Verhalten auslösen können. Ein solcher interdisziplinärer Ansatz gewährleistet gerechte Rechtsprechung, verhindert die Kriminalisierung gesundheitlich bedingter Zustände und wahrt das Prinzip individueller Verantwortlichkeit.

3.3. *Sicherheits- und Risikofaktoren*

Die Kombination aus kardiologischen, neurologischen und verhaltensbezogenen Symptomen bildet eine komplexe klinische und soziale Situation, in der die rechtliche Bewertung der Handlungen eines Vormunds oder Angehörigen nicht nur auf ethischen und verfahrensrechtlichen Kriterien, sondern auch auf medizinischer Kausalität beruhen muss. Dies bedeutet, eine wissenschaftlich fundierte Verbindung zwischen dem Gesundheitszustand der Person und ihrer Fähigkeit herzustellen, Realität wahrzunehmen, Risiken einzuschätzen, auf Stress zu reagieren und soziale oder familiäre Pflichten zu erfüllen. In der Praxis erfordert eine solche Bewertung einen interdisziplinären Ansatz, der medizinische Expertise, psychologische Begutachtung und juristische Interpretation kombiniert. Ziel ist sicherzustellen, dass Entscheidungen im Namen der betroffenen Person ihre tatsächliche kognitive und emotionale Kompetenz

widerspiegeln und nicht auf Annahmen oder subjektiven Einschätzungen beruhen, wodurch Betreuung oder Unterstützungsmaßnahmen im Einklang mit Menschenrechten, Würde und proportionaler Verantwortung stehen.

Das Risikoniveau der betroffenen Person kann als funktionales Modell dargestellt werden, das eine Reihe von Faktoren berücksichtigt (Formel 1):

$$R = f(M, P, C) = M + P + C \quad (1)$$

Legende:

M - medizinische Faktoren (WPW, Meningeom)

P - verhaltensbezogene Faktoren (Aggression, emotionale Reaktivität)

C - häusliche Faktoren (stressige Situationen, Lebensbedingungen)

Quelle: *Eigene Darstellung*

Dieses Modell ermöglicht eine quantitative Bewertung des Risikos häuslicher Vorfälle, die andernfalls fälschlicherweise als Gewalthandlungen eingestuft werden könnten (Abbildung 1).

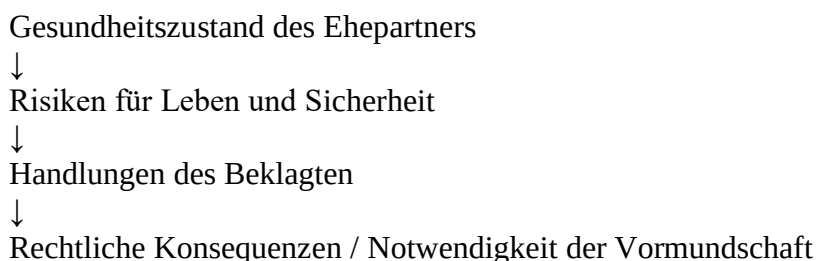


Abbildung 1. Indikatoren für Stresssituationen

In solchen Fällen kann eine formale Interpretation der Handlungen zu fehlerhaften Schlussfolgerungen hinsichtlich Vorsatz oder Rechtswidrigkeit führen. Daher werden forensisch-medizinische und psychologisch-psychiatrische Untersuchungen entscheidend, um die Grenzen von Verantwortung, Gutgläubigkeit und Objektivität der Beteiligten in familiären Konflikten festzulegen.

Zwischen 2005 und 2009 wurden in einer Familie, in der der behinderte Bruder der Ehefrau lebte, Episoden aggressiven Verhaltens beobachtet, die zunächst als Hauskonflikte interpretiert wurden. Spätere medizinische Untersuchungen zeigten jedoch das Vorliegen neurologischer und kardiologischer Störungen, die direkte Auswirkungen auf die emotionale Stabilität und das Verhalten der Person hatten. Diese Manifestationen umfassten Impulsivität, inadäquate Reaktionen auf äußere Reize und periodische Desorientierung, was auf die organische Natur der Verhaltensänderungen hinwies.

Gutachterliche Schlussfolgerungen bestätigten später, dass diese aggressiven Erscheinungen weder vorsätzlich noch kriminell waren, sondern auf physiologische Dysfunktionen zurückzuführen waren, die medizinische Intervention statt rechtliche Repression erforderten.

Die Analyse des klinischen Verlaufs zeigte Phasen diagnostischer Fehler, pharmakologischer Nebenwirkungen und die Notwendigkeit umfassender neurologischer Überwachung (Tabelle 1).

Table 1. Chronologie klinischer Ereignisse, Diagnosen und Behandlungen

Jahr	Ereignis / Diagnose	Hauptsymptome	Diagnostische Methoden	Behandlung / Ergebnis
1990	Appendektomie	Bewusstseinsverlust, Krampfanfälle	Archivdaten nicht verfügbar	Verdacht auf Kreislaufstillstand, posthypoxische Veränderungen
1991	Erstdiagnose WPW-Syndrom	Palpitationen, Dyspnoe, Tachykardie	EKG, klinische Untersuchung	Pharmakotherapie nach aktuellen Standards
1994	Bestätigung der Diagnose	Palpitationen, Dyspnoe, Tachykardie	EKG, Echokardiographie	Ambulante Überwachung, nicht-invasive kardiologische Intervention
2002–2005	Fehldiagnose „Epilepsie“	Anfälle, Bewusstseinsverlust	Ohne EEG und Neuroimaging	Carbamazepin → verstärkte Arrhythmien, kognitive Beeinträchtigung
2025	Aktuelle Evaluation	Paroxysmen, Synkopen, vegetative Symptome	EKG, EEG, Wärmetest	AVRT bestätigt, vagale Hyperreaktivität, Carbamazepin abgesetzt

Quelle: Eigene Darstellung

In solchen Fällen entsteht eine komplexe interdisziplinäre Herausforderung — die Abgrenzung zwischen pathologischem Verhalten infolge einer Erkrankung und rechtswidrigem Verhalten, das juristisch bewertet werden muss. Die Strafverfolgungspraxis in der Ukraine zeigt, dass fehlende medizinische Gutachten oder umfassende psychoneurologische Untersuchungen häufig zur Fehlklassifizierung solcher Vorfälle als häusliche Gewalt führen.

Dies birgt das Risiko, Personen mit neurologischen oder psychosomatischen Störungen zu kriminalisieren und verletzt das Prinzip der individuellen Verantwortung. Ein zentrales Element zur Vermeidung solcher Rechtsfehler ist daher die wirksame Koordination zwischen medizinischen Einrichtungen, sozialen Schutzbehörden und Strafverfolgungsbehörden, die sowohl den Opferschutz als auch die Rechte chronisch Kranker wahrt.

Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit medizinisch-rechtlicher Integration, bei der klinische Beobachtungen in die rechtliche Bewertung der Handlungen der Beteiligten einfließen, insbesondere in Fällen mit gemischter sozial-verhaltensbezogener und medizinischer Konfliktursache.

Praktische Empfehlungen

1. Dokumentation von Konflikten und Gewalthandlungen

Eine ordnungsgemäße Dokumentation von Konflikten und Gewalthandlungen stellt eine grundlegende Voraussetzung für effektiven Rechtsschutz dar, gewährleistet die Objektivität von Ermittlungen und schützt die Rechte aller Beteiligten. Die systematische, vollständige und rechtlich korrekte Erfassung von Ereignissen bestimmt, ob das Opfer tatsächlichen Schutz erhält oder die Untersuchung formal bleibt, sodass der Täter der Verantwortung entgeht.

Die Dokumentation sollte schriftlich erfolgen und Folgendes enthalten:

- Datum, Uhrzeit und Ort des Ereignisses;
- Identifikationsdaten der Beteiligten (einschließlich Zeugen, falls möglich);
- Beschreibung spezifischer Handlungen oder Aussagen;
- visuelle oder akustische Beweismittel (Fotos, Videos, Audioaufnahmen), die der Erklärung oder dem Protokoll beigelegt werden können.

Solche Dokumente können in Form von:

- Anzeigen bei Strafverfolgungsbehörden (nationale Polizei oder Staatsanwaltschaft);
- Anträgen an Vormundschaftsbehörden, insbesondere bei Fällen mit Kindern, Personen mit Behinderungen oder Pflegebedürftigen;
- schriftlichen Erklärungen, die bei der zuständigen Institution, medizinischen Einrichtung oder dem Gericht registriert werden, vorliegen.

Nach Registrierung erlangt das Dokument den Status eines amtlichen Beweismittels, und dessen Fehlen kann die gerichtliche Feststellung eines Verstoßes verhindern. Jedes Dokumentenelement — Eingangsnummer, Stempel, Unterschrift eines autorisierten Beamten — ist für spätere Beweisverfahren relevant.

Neben der offiziellen Dokumentation wird empfohlen, ein persönliches Protokoll (Tagebuch) zu führen, das Folgendes abbildet:

- Chronologie der Konfliktvorfälle;
- Veränderungen des emotionalen Zustands des Opfers;
- Reaktionen von Zeugen oder Nachbarn;
- Maßnahmen von Strafverfolgung oder sozialen Diensten nach Meldungen.

Dieses Instrument wird in EU-Staaten — darunter die Niederlande, Belgien, Schweden und Deutschland — als ergänzendes Beweismittel zu offiziellen Protokollen, medizinischen Berichten und forensisch-psychologischen Gutachten verwendet. Nach der Praxis des Europäischen Gerichtshofs für Menschenrechte (EGMR) wird jedes systematisch geführte Dokument, das vom Opfer oder dessen Vertreter fortlaufend erstellt wurde, ebenfalls als Beweismittel anerkannt, sofern es durch weitere Beweise gestützt wird.

Fehlende ordnungsgemäße Beweise führen häufig zu:

- Ablehnung der Einleitung strafrechtlicher Verfahren;
- Einstellung von Fällen wegen unzureichender Beweislage;
- Umqualifizierung von Handlungen als Hauskonflikt, wodurch die rechtliche Verantwortung des Täters reduziert wird.

Somit besitzt Dokumentation nicht nur rechtliche, sondern auch präventive Funktion: Sie bildet die Beweisgrundlage für Gerichte, Vormundschaftsbehörden und medizinische Einrichtungen und ermöglicht die systematische Beobachtung der Konfliktdynamik. Praktisch betrachtet ist dieser Prozess ein integraler Bestandteil der familiären sozialen Sicherheit, da er die rechtzeitige Erkennung von Risiken und die Hinzuziehung professioneller Hilfe - psychologisch, medizinisch, sozial oder juristisch - ermöglicht.

2. Medizinische und psychologische Überprüfung

Medizinische Dokumentation stellt ein zentrales Beweismittel in Fällen häuslicher Gewalt dar und dient zugleich der Überprüfung von Gesundheitsschäden im Hinblick auf Entschädigung und Rehabilitation [13].

Jegliche ärztlichen Atteste, Gutachten, forensisch-medizinische Berichte sowie Bewertungen von Psychologen, Psychotherapeuten oder Psychiatern werden als zulässige Beweismittel anerkannt.

Besondere Aufmerksamkeit gilt psychischer Gewalt, die keine sichtbaren physischen Spuren hinterlässt. Diese kann dokumentiert werden durch:

- psychologische Begutachtung;
- Gutachten von sozialen Unterstützungszentren;
- Konsultationsberichte von Psychotherapeuten.

In der europäischen Praxis (Polen, Niederlande, Deutschland) gelten solche Dokumente als primäre Beweismittel bei Fällen moralischen Schadens oder bei der Anwendung restriktiver Maßnahmen. Es wird empfohlen, medizinische Einrichtungen aufzusuchen, die befugt sind, offizielle medizinische Berichte auszustellen, die gerichtlichen Unterlagen oder Vormundschaftsanträgen beigelegt werden können.

Medizinische Überprüfung erfüllt somit eine doppelte Funktion:

- *Beweisfunktion (rechtlich)* - Feststellung von Tatsachen für gerichtliche Überprüfung;
- *Schutz- und Rehabilitationsfunktion (medizinisch-sozial)* - Unterstützung von Gesundheit, Sicherheit und Genesung des Opfers.

3. Rechtliche Unterstützung und Schutz der Opferrechte

Ein Schlüsselfaktor für eine effektive Reaktion auf Gewalthandlungen ist die rechtzeitige Hinzuziehung professioneller juristischer Hilfe. Jede Person hat

das Recht auf rechtliche Beratung, Unterstützung beim Verfassen von Erklärungen, Klagen oder Petitionen sowie Vertretung vor Gericht.

Die Einbindung eines Rechtsanwalts oder juristischen Beistands wird bereits beim Einreichen der ersten Erklärung empfohlen, da die Genauigkeit der Formulierungen die Fallqualifikation (administrativ oder strafrechtlich) direkt beeinflusst.

Ein juristischer Vertreter ist befugt:

- Anträge zur Sicherung von Beweisen zu stellen;
- die Beantragung von Schutz- oder Einschränkungsmaßnahmen einzuleiten;
- Kontakt zu Vormundschaftsbehörden aufzunehmen, wenn Kinder oder rechtlich betreute Personen gefährdet sind.

Fälle wirtschaftlicher Gewalt (z. B. Kontrolle über Finanzen, Entzug von Eigentum oder Wohnraum) oder psychischer Gewalt (einschließlich Demütigung, Isolation oder Manipulation) erfordern ebenfalls angemessene rechtliche Maßnahmen, um den Schutz der Opferrechte sicherzustellen.

4. *Mediation und Prävention häuslicher Konflikte*

Nicht jeder häusliche Konflikt eskaliert zu Gewalt. Die Aufgabe des Rechtssystems besteht daher nicht nur in der Bestrafung, sondern auch in der Prävention von Eskalationen [14].

Eines der effektivsten Instrumente hierfür ist die Mediation - ein freiwilliger Streitbeilegungsprozess unter Beteiligung eines neutralen Dritten als Vermittler.

Mediation hat sich als wirksam erwiesen in Fällen wie:

- familiären Auseinandersetzungen, beispielsweise bei Vermögensaufteilung oder Fragen der Kindererziehung;
- Missverständnissen zwischen Angehörigen;
- Konflikten, die aus psychologischen oder häuslichen Belastungen resultieren.

In EU-Staaten (Finnland, Dänemark, Deutschland) wird Mediation in Kooperation mit Strafverfolgungsbehörden, sozialen Diensten und Psychologen durchgeführt. Dieser integrierte Ansatz ermöglicht:

- die Vermeidung formeller Gerichtsverfahren;
- die Erhaltung familiärer Beziehungen;
- psychologische Erholung und Unterstützung der beteiligten Personen.

5. *Akademisches und analytisches Potenzial der gesammelten Materialien*

Dokumentierte Erklärungen, Protokolle, medizinische Unterlagen und gerichtliche Entscheidungen können nicht nur als Beweismittel in einzelnen Fällen genutzt werden, sondern auch als empirische Grundlage für rechtliche und wissenschaftliche Forschung.

Solche Materialien:

- erleichtern die Analyse von Trends in der Gewaltprävalenz;
- ermöglichen die Bewertung der Wirksamkeit bestehender Gesetze;
- unterstützen die Entwicklung neuer rechtlicher und sozialer Mechanismen zum Schutz vulnerabler Gruppen.

Die wissenschaftliche Aufarbeitung realer Fälle gewährleistet einen interdisziplinären Ansatz, der rechtliche, medizinische und soziale Aspekte verbindet und in der zeitgenössischen Jurisprudenz sowie Sozialpolitik unerlässlich ist [15].

6. Europäische Erfahrung und Digitalisierung der Reaktionsprozesse

EU-Staaten haben erfolgreich elektronische Mechanismen zur Erfassung von Gewaltvorfällen implementiert, einschließlich:

- elektronischer Register für Bürgerberichte;
- standardisierter Beweisformulare;
- Online-Psychologie- und Beratungsdienste [12].

In Litauen, der Tschechischen Republik und Frankreich sind zentralisierte Vorfalldatenbanken für Gerichte, Strafverfolgungsbehörden und soziale Dienste zugänglich, was eine schnelle Reaktion sicherstellt und die Duplizierung oder Verschleierung von Informationen verhindert.

Für die Ukraine wäre die Einrichtung einer nationalen elektronischen Plattform zur Überwachung häuslicher Gewalt ratsam, die Daten des Innenministeriums, der Gerichte, der Vormundschaftsbehörden und der Gesundheitseinrichtungen integriert. Eine solche Plattform würde Transparenz, statistische Genauigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit verbessern.

7. Medizinisch-rechtliche Aspekte der Betreuung von Opfern

7.1. Organisation der medizinischen Versorgung

Die Gewährleistung einer systematischen medizinischen Betreuung stellt einen entscheidenden Faktor dar, insbesondere in Fällen, in denen die Opfer an schweren chronischen oder neurologischen Erkrankungen leiden (z. B. WPW-Syndrom, Meningeom, postoperative Zustände).

In komplexen Situationen wird ein multidisziplinärer Ansatz empfohlen, bei dem Diagnostik und Therapie zwischen mehreren spezialisierten medizinischen Einrichtungen – etwa der Kardiologie, Neurologie und Psychiatrie – koordiniert werden.

Die sorgfältige Führung der medizinischen Dokumentation, einschließlich Entlassungsberichte, Untersuchungsergebnisse und Konsiliumsprotokolle, verbessert nicht nur die Qualität der Behandlung, sondern besitzt auch rechtliche Relevanz für die spätere Zusammenarbeit mit Vormundschafts- und Betreuungsbehörden.

7.2. Rechtliche und soziale Aspekte

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Medizin und Recht ist eine wesentliche Voraussetzung für den wirksamen Schutz der Rechte von Personen, die ihre Entscheidungsfähigkeit verloren haben oder sich in einer akuten Krisensituation befinden.

Vormundschaftsbehörden treffen ihre Entscheidungen auf Grundlage fundierter Anträge, die durch ein vollständiges Paket medizinischer Nachweise untermauert sind.

Die juristische Unterstützung soll dabei ein Gleichgewicht gewährleisten zwischen dem Schutz der Rechte des Opfers und der Prävention von Missbrauch durch Betreuungspersonen.

Eine kontinuierliche Koordination zwischen medizinischen Fachkräften, Sozialdiensten und juristischen Expertinnen und Experten ist erforderlich, im Einklang mit den europäischen Standards für umfassende Unterstützung von Opfern häuslicher Gewalt.

7.3. Empfehlungen für Krisensituationen

Bei plötzlichen Komplikationen oder einer Verschlechterung des Gesundheitszustands ist ein klar strukturierter Handlungsalgorithmus erforderlich, der Folgendes umfasst:

- Kontaktdaten relevanter Fachärzte und Notdienste;
- Wegbeschreibungen zur nächstgelegenen medizinischen Einrichtung;
- Kopien zentraler medizinischer Unterlagen (Entlassungsberichte, ärztliche Bescheinigungen, Untersuchungsergebnisse).

Gleichzeitig ist die Bereitstellung psychologischer Unterstützung für das Opfer, insbesondere während einer längeren Rehabilitationsphase, von entscheidender Bedeutung.

Solche Maßnahmen erhöhen nicht nur die Wahrscheinlichkeit einer nachhaltigen Genesung, sondern beugen auch einer Retraumatisierung vor.

8. Abschließende Maßnahmen

8.1. Medizinische und soziale Maßnahmen

Eine umfassende medizinische und soziale Unterstützung der Opfer trägt wesentlich dazu bei, das Risiko einer Verschlimmerung chronischer Erkrankungen zu verringern und Verletzungen vorzubeugen.

Empfohlene Maßnahmen umfassen:

- Dringende medizinische Überwachung in spezialisierten Einrichtungen, beispielsweise im Regionalen Krankenhaus Charkiw für Personen mit schweren Erkrankungen;
- Regelmäßige Gesundheitskontrollen, einschließlich kardiologischer, neurologischer und psychiatrischer Untersuchungen;

- Minimierung häuslicher Risiken durch Anpassung der Wohnräume, Kontrolle potenziell gefährlicher Gegenstände sowie Einbindung sozialer Fachkräfte in den täglichen Betreuungsprozess.

8.2. Rechtliche Maßnahmen

Die rechtliche Unterstützung muss den Schutz der Opferrechte sowie die Rechtmäßigkeit der Handlungen von Betreuungspersonen sicherstellen. Dazu gehören:

- Einrichtung einer gesetzlichen Betreuung und gerichtlichen Aufsicht für Personen, die ihre eigene Sicherheit nicht gewährleisten können;
- Lückenlose Dokumentation aller relevanten Ereignisse, einschließlich medizinischer Berichte, Protokolle und schriftlicher Erklärungen, die die Notwendigkeit von Eingriffen bestätigen;
- Einholung gerichtlicher Genehmigungen für medizinische Untersuchungen, therapeutische Eingriffe oder andere Maßnahmen, die die persönliche Autonomie betreffen.

8.3. Organisatorische Maßnahmen

Eine strukturierte Haushaltsführung und klare Kommunikationsmechanismen innerhalb der Familie tragen dazu bei, Eskalationen von Konflikten zu verhindern.

Empfohlen werden:

- Faire Verteilung häuslicher Aufgaben ohne Zwang, um die Autonomie der Familienmitglieder zu gewährleisten und Konfliktpotenziale zu reduzieren;
- Familiäre Schulungen und Trainings zu Krisenmanagement und Handlungsalgorithmen bei medizinischen oder verhaltensbedingten Komplikationen.

8.4. Berufliche und gemeinschaftliche Maßnahmen

Die Verbindung professioneller Betreuung mit sozialer Einbindung fördert eine umfassende Unterstützung und soziale Integration der Opfer.

- Verknüpfung von Gemeindearbeit mit Betreuungsaufgaben, um Unterstützungsnetzwerke aufzubauen und soziale Teilhabe zu stärken;
- Ausgewogenheit zwischen sozialem Engagement und familiärer Sicherheit, um Überlastung der Betreuungspersonen zu vermeiden und Stabilität in der Pflege zu gewährleisten.

Schlussfolgerungen

1. Grundsätzliche Unterscheidung zwischen häuslichen Konflikten und häuslicher Gewalt

Die Unterscheidung dieser Phänomene ist von entscheidender Bedeutung für die Rechtspraxis und die Sozialarbeit. Ein häuslicher Konflikt ist situativer Natur, beschränkt sich auf verbale oder haushaltsbezogene Missverständnisse und

beinhaltet keine systematische Schädigung. Häusliche Gewalt hingegen ist durch regelmäßige, systematische Handlungen physischer, psychischer, wirtschaftlicher oder sexueller Art gekennzeichnet, die eine reale Gefahr für Leben, Gesundheit oder Freiheit einer Person darstellen.

2. Dokumentation und Einreichung von Materialien

Eine systematische und ordnungsgemäß organisierte Dokumentation von Vorfällen im Zusammenhang mit Konflikten und Gewalthandlungen bildet die Grundlage für die Verwirklichung der Rechte der Opfer sowie für die Beweisführung vor gerichtlichen und administrativen Instanzen. Solche Dokumentationen umfassen schriftliche Erklärungen, Polizeiberichte, ärztliche Atteste, forensisch-medizinische Gutachten, psychologische Beurteilungen und Unterlagen der Vormundschaftsbehörden.

3. Nutzung internationaler Erfahrungen und standardisierter Methodologien

Die Einbeziehung europäischer Erfahrungen in Dokumentation sowie medizinische und psychologische Opferhilfe belegt die Wirksamkeit eines integrierten Ansatzes. Standardisierte Verfahren zur Beweissicherung und Beratung fördern Prävention, rechtliche Reaktion und interinstitutionelle Kooperation sowie den Aufbau eines Monitoringsystems häuslicher Gewalt in der Ukraine.

4. Ganzheitlicher Ansatz zum Opferschutz

Ein wirksamer Schutz von Leben, Gesundheit und Rechten der Opfer erfordert die systematische Verbindung medizinischer, rechtlicher und sozialer Maßnahmen. Eine rechtzeitige Behandlungsplanung, die Überwachung des Gesundheitszustands, rechtliche Unterstützung, psychologische Hilfe sowie Familienmediation minimieren Risiken, gewährleisten die Sicherheit der Opfer und verhindern die Eskalation von Konflikten.

5. Wissenschaftliche und analytische Bedeutung der gesammelten Materialien

Dokumentierte Fälle häuslicher Gewalt und häuslicher Konflikte stellen eine wertvolle Grundlage für empirische Forschung, die Bewertung der Wirksamkeit gesetzlicher Regelungen, die Entwicklung interdisziplinärer Empfehlungen und die Förderung des Rechtsbewusstseins von Fachkräften dar.

6. Soziale und praktische Relevanz

Eine systematische Dokumentation und ein ganzheitlicher Opferschutz sichern die Effizienz des Rechts- und Sozialsystems, fördern eine Kultur gewaltfreier Interaktion und stärken einen humanistischen, verantwortungsbewussten Ansatz in der Rechtspraxis.

Literaturverzeichnis

1. Kovalenko, O. (2021). Verwaltungsrecht: Verfahrensrechtliche Aspekte. Kiew: Jurinkom Inter.
2. Petrova, M. (2020). Gerichtspraxis in Fällen häuslicher Gewalt. Charkiw: Recht und Gesellschaft.
3. Ivanenko, S. (2019). Kostenlose Rechtsberatung in der Ukraine: Erfahrungen und Herausforderungen. Kiew: Zentrum für Rechtsbeistand.
4. Europarat. (2011). Übereinkommen zur Verhütung und Bekämpfung von Gewalt gegen Frauen und häuslicher Gewalt (Istanbul-Konvention). Straßburg: Europarat.
5. Oberster Gerichtshof der Ukraine. (2022). Praxis der Anwendung des Artikels 173-2 des ukrainischen Gesetzbuchs über Ordnungswidrigkeiten in Fällen häuslicher Gewalt. Kiew: Rechtsprechung.
6. Ministerium der Justiz der Ukraine. (2020). Methodische Empfehlungen zur Verhütung und Reaktion auf häusliche Gewalt. Kiew: Justizministerium der Ukraine.
7. Agentur der Europäischen Union für Grundrechte. (2022). Gewalt gegen Frauen: EU-weite Erhebung. Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union.
8. Europäischer Gerichtshof für Menschenrechte. (2020). Rechtsprechung zum Schutz vor häuslicher Gewalt. Straßburg: EGMR.
9. Werchowna Rada der Ukraine. (2023). Gesetzbuch der Ukraine über Ordnungswidrigkeiten (mit Änderungen und Ergänzungen). Kiew.
10. Ministerium für Sozialpolitik der Ukraine. (2021). Methodische Empfehlungen zur Bewertung von Risiken häuslicher Gewalt. Kiew.
11. Kyselova, T. (2018). Mediation und Zugang zur Justiz in der Ukraine. *Journal of Dispute Resolution*, 34(2), 115–132.
12. Europarat. (2021). Handbuch zum europäischen Recht im Zusammenhang mit Gewalt gegen Frauen und häuslicher Gewalt. Straßburg.
13. Boyko, I. (2022). Medizinisch-rechtliche Aspekte der Dokumentation häuslicher Gewalt. Kiew: Nationale Akademie der Rechtswissenschaften der Ukraine.
14. Tymoschenko, I. (2020). Mediation als Alternative zur gerichtlichen Beilegung von Familienkonflikten. Odessa: Rechtliches Denken.
15. UN Women. (2022). Geschlechtsspezifische Gewalt und multidisziplinäre Reaktionssysteme. New York.

[PT_8]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Conflitos Domésticos e Qualificação da Violência Doméstica

Resumo

Na prática administrativa e jurídica contemporânea da Ucrânia, a identificação de erros processuais típicos que ocorrem durante a elaboração de autos de infração administrativa e a análise dos respectivos processos pelos tribunais adquiriu importância particular [1, 2].

A análise de estudos de caso específicos possibilita o desenvolvimento de recomendações práticas destinadas a melhorar o funcionamento dos órgãos de aplicação da lei, do poder judiciário e do sistema de assistência jurídica gratuita [3].

O presente artigo examina um caso de processo administrativo relacionado a uma acusação de prática de violência doméstica, que ilustra diversos aspectos problemáticos.

A análise jurídica de casos individuais no âmbito do direito administrativo permite identificar não apenas particularidades processuais, mas também dimensões interdisciplinares que envolvem a medicina, a proteção social e a salvaguarda dos direitos humanos.

O estudo centra-se em um caso administrativo relativo a uma alegação de violência doméstica, destacando uma série de questões ligadas ao suporte processual e probatório [4, 5].

A apreciação jurídica de tais casos revela não apenas nuances processuais, mas também fatores interdisciplinares relacionados à avaliação médica, ao bem-estar social e à proteção dos direitos fundamentais [6].

O estudo analisou os materiais de um caso judicial relacionado com acusações de violência doméstica, bem como a avaliação jurídica das explicações escritas e documentos apresentados que refletem o estado de saúde e as condições sociais das partes envolvidas no conflito.

Palavras-chave: conflito doméstico, violência doméstica, avaliação jurídica, prática judicial, documentação, proteção dos direitos humanos, experiência internacional, Ucrânia.

Introdução

A questão dos conflitos e da violência na sociedade contemporânea apresenta dimensões sociais, psicológicas e jurídicas multifacetadas, afetando diretamente a estabilidade das relações familiares, a segurança social e a eficácia das forças de aplicação da lei [2, 3]. Merece atenção particular a diferenciação entre conflitos domésticos e casos de violência doméstica, pois cada fenômeno requer abordagem legal específica, regulação processual e resposta social adequada [1, 4].

O conflito doméstico é definido como uma situação decorrente de divergências de interesses, tensões emocionais ou discrepâncias culturais entre familiares, vizinhos ou outros grupos sociais. Tais conflitos geralmente não envolvem humilhação sistemática, controle ou ameaça à vida, sendo resolvidos por mecanismos civis ou administrativos, incluindo mediação, intervenção de serviços sociais ou aconselhamento psicológico [6, 7].

A violência doméstica, em contraste, constitui um fenômeno sistemático e repetitivo, englobando abusos físicos, psicológicos, econômicos e sexuais, com o objetivo de controlar, coagir ou subjugar outra pessoa.

A distinção entre conflitos domésticos e violência doméstica permanece uma das questões mais controversas na prática jurídica e de aplicação da lei na Ucrânia. Mal-entendidos familiares são frequentemente classificados como infrações administrativas, mesmo na ausência de sinais de violência física ou psicológica, criando riscos de violação do princípio da proporcionalidade, minando a confiança pública na proteção legal contra a violência e comprometendo a própria concepção de violência doméstica — um tema de relevante importância para o sistema jurídico e a política social do Estado [1, 5].

Seção Analítica

1. Interpretação Jurídica e Prática Judicial

Na legislação ucraniana, a violência doméstica é regulamentada de forma abrangente, enquanto os conflitos domésticos nem sempre se enquadram na definição legal de violência doméstica. Geralmente, resultam de divergências de opiniões, reações emocionais ou desentendimentos familiares, envolvendo membros da família, parentes ou vizinhos. Tais situações são predominantemente tratadas por mecanismos civis e administrativos, incluindo mediação, recurso às autoridades de tutela ou outros procedimentos pacíficos de resolução de conflitos [1, 6].

A qualificação jurídica de conflitos e atos de violência baseia-se não apenas na legislação nacional, mas também em normas internacionais de direitos humanos, particularmente na Convenção do Conselho da Europa sobre a Prevenção e Combate à Violência contra as Mulheres e à Violência Doméstica [4]. A legislação ucraniana estabelece procedimentos claros de resposta: contato com a polícia, elaboração de autos de infração administrativa, submissão de requerimentos ao tribunal, obtenção

de medidas urgentes ou restritivas, e envolvimento dos serviços sociais na avaliação de riscos [10].

A prática judicial enfatiza a importância da documentação adequada dos conflitos, incluindo:

- registro cronológico dos eventos;
- apresentação de atestados médicos ou declarações de testemunhas;
- conformidade dos materiais submetidos com a lei processual;
- registro formal correto dos documentos [5].

As explicações escritas apresentadas pelas partes via cartório judicial e certificadas com selo oficial adquirem força legal após aceitação pelo tribunal, servindo como material probatório para análise jurídica e interpretação acadêmica, contribuindo para o desenvolvimento da doutrina de direitos humanos [11].

A prática moderna demonstra uma tendência à interpretação ampliada do conceito de “violência doméstica”, que por vezes confunde conflitos domésticos com atos violentos, criando risco de responsabilização indevida por ações que não apresentam comportamento sistemático, intenção ou dano conforme definido em lei. Assim, a distinção cientificamente fundamentada entre “violência” e “conflito” é pré-requisito essencial para a administração da justiça equitativa.

Um caso judicial analisado na prática de um tribunal local da região de Kharkiv em 2025 ilustra uma situação em que um conflito doméstico foi incorretamente qualificado como violência doméstica. A análise dos materiais revelou a ausência de indícios de humilhação intencional, dano físico ou psicológico, bem como de elementos de controle ou ameaças.

As partes mantinham um relacionamento conjugal de longa duração; entretanto, um membro da família apresentava transtorno neurológico afetando a estabilidade emocional. O réu reconheceu a existência de desentendimentos domésticos, enfatizando a natureza não violenta das interações e a ausência de elementos que configurassem infração administrativa. Suas ações visavam proteger a vida e a segurança dos familiares [9].

O tribunal concluiu que:

- a ausência de comportamento sistemático e intenção exclui a qualificação como infração administrativa;
- conflitos domésticos requerem apoio socio-psicológico, e não sanção legal;
- avaliações médicas e sociais contribuem para a objetividade da revisão judicial e previnem a criminalização excessiva das relações familiares [4, 5].

Este caso exemplifica metodologicamente a distinção entre conflitos domésticos e violência doméstica, demonstrando a necessidade de abordagem interdisciplinar — combinando fatores jurídicos, psicológicos e sociais — que fundamenta a justiça humanista na Ucrânia contemporânea.

2. *Abordagens Internacionais*

Na prática internacional, a distinção entre os conceitos de “conflito” e “violência” constitui um princípio fundamental na aplicação da lei e na interpretação judicial [7]. Segundo a Convenção de Istambul (2011) [4] e a jurisprudência do Tribunal Europeu de Direitos Humanos, a violência doméstica é definida como infligir dano de forma sistemática e intencional, seja de natureza física, psicológica, sexual ou econômica [4, 8].

Em contraste, o conflito doméstico é interpretado como uma reação situacional a desentendimentos emocionais ou familiares, passível de resolução por meios civis ou administrativos. A prática jurídica de Estados-membros da União Europeia (em particular Alemanha, Polônia e República Checa) confirma que proporcionalidade probatória, procedimentos legais sistemáticos e avaliação imparcial das partes são pré-requisitos essenciais para uma análise judicial objetiva.

A qualificação jurídica de conflitos e violência doméstica deve basear-se nos princípios de objetividade, proporcionalidade e respeito aos direitos humanos, assegurando equilíbrio entre:

- proteção das vítimas;
- prevenção de interferência estatal excessiva na vida privada;
- análise científica dos fatores socio-psicológicos.

A implementação de padrões metodológicos unificados para documentação, avaliação e qualificação de situações de conflito contribuirá para a formação de prática judicial consistente, aumentará a eficácia da resposta legal e fortalecerá o modelo humanista de justiça na Ucrânia [12].

3. *Interpretação Jurídica do Cuidado de Pessoas com Doenças Graves*

A questão do cuidado de indivíduos com doenças graves ou crônicas — incluindo distúrbios psiconeurológicos, cardiológicos ou comportamentais — situa-se na interseção do direito médico, social e administrativo.

A avaliação jurídica das ações dos cuidadores deve fundamentar-se nos princípios de proporcionalidade, documentação adequada e respeito aos direitos humanos. As autoridades administrativas devem considerar não apenas os aspectos legais dessas situações, mas também os riscos médicos que determinam o contexto comportamental e as respostas da pessoa sob cuidado.

3.1. *Condição Médica da Vítima*

O indivíduo afetado apresenta múltiplas condições médicas graves que, em conjunto, configuram um perfil médico-psicológico complexo:

- ***Síndrome de Wolff–Parkinson–White (WPW)*** - distúrbio cardiológico que requer ablação por radiofrequência (RFA);
- ***Meningioma anaplásico cerebral***, manifestado por episódios de convulsão, agressividade e comprometimento do controle comportamental;

- ***Características comportamentais*** incluindo episódios de agressão, instabilidade emocional e irritabilidade reativa.

Essas manifestações clínicas impactam diretamente as interações sociais no âmbito familiar, criando condições para conflitos que, por sua natureza, não configuram atos de violência, mas representam consequências secundárias de distúrbios médicos subjacentes.

3.2. Especificidades do Cuidado e Interação com as Autoridades

O cuidado de um indivíduo com perfil médico tão complexo exige coordenação sistemática entre:

- ***instituições médicas*** - para diagnóstico, terapia e monitoramento da saúde;
- ***serviços sociais*** - para assistência e acompanhamento contínuo;
- ***autoridades de tutela e curadoria*** - para formalização legal da guarda;
- ***órgãos de aplicação da lei*** - em casos de conflito ou mal-entendido.

A documentação das condições médicas e a emissão de pareceres médicos possuem valor probatório em processos judiciais relacionados à violência doméstica, especialmente quando as manifestações comportamentais do indivíduo são medicamente induzidas. Nestes casos, a documentação médica — incluindo atestados, relatórios de alta hospitalar e resultados de exames psiconeurológicos ou cardiológicos — serve não apenas como evidência complementar, mas como elemento central para comprovar a ausência de intenção ou mitigar a responsabilidade legal.

Órgãos de aplicação da lei e tribunais devem considerar a etiologia médica do comportamento da pessoa, particularmente quando sintomas da doença possam provocar explosões emocionais, desorientação, reações agressivas ou perda temporária do controle comportamental. Tal abordagem interdisciplinar garante a justiça equitativa, previne a criminalização de condições de saúde e sustenta o princípio da responsabilidade individualizada.

3.3. Segurança / Fatores de Risco

A combinação de sintomas cardiológicos, neurológicos e comportamentais cria uma situação clínica e social complexa, na qual a avaliação legal das ações de um tutor ou parente deve se basear não apenas em critérios éticos e processuais, mas também em causalidade médica. Isso implica estabelecer uma relação cientificamente fundamentada entre a condição de saúde do indivíduo e sua capacidade de perceber a realidade, avaliar riscos, reagir ao estresse e cumprir responsabilidades sociais ou familiares. Na prática, essa avaliação exige abordagem interdisciplinar, combinando expertise médica, avaliação psicológica e interpretação jurídica, garantindo que decisões em nome do indivíduo reflitam sua competência cognitiva e emocional real, em conformidade com direitos humanos, dignidade e responsabilidade proporcional.

O nível de risco para o indivíduo afetado pode ser representado por um modelo funcional que considera um conjunto de fatores (Fórmula 1):

$$R = f(M, P, C) = M + P + C \quad (1)$$

Onde:

M - fatores médicos (WPW, meningioma)

P - fatores comportamentais (agressão, reatividade emocional)

C - fatores domésticos (situações de estresse, condições de vida)

Fonte: Elaboração do autor

Este modelo permite avaliação quantitativa do risco de incidentes domésticos, evitando sua classificação indevida como atos violentos (Figura 1).

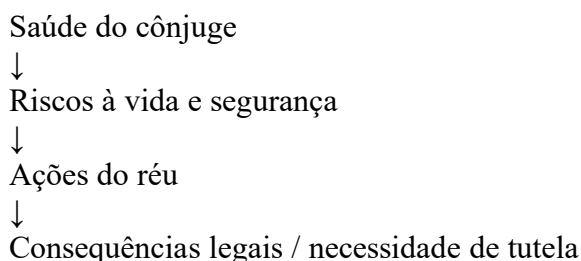


Figura 1. Indicadores de condições de estresse

A interpretação formal das ações, sem considerar o contexto médico, pode levar a conclusões errôneas sobre intenção ou ilicitude. Exames médico-legais e psicológicos-psiquiátricos tornam-se cruciais para determinar limites de responsabilidade, boa-fé e objetividade dos participantes em conflitos domésticos.

Entre 2005 e 2009, em uma família onde residia o irmão da esposa com deficiência, foram observados episódios de comportamento agressivo inicialmente interpretados como conflitos domésticos. Exames médicos subsequentes revelaram distúrbios neurológicos e cardiológicos impactando a estabilidade emocional e respostas comportamentais do indivíduo, incluindo impulsividade, reações inadequadas a estímulos externos e desorientação periódica, indicando a natureza orgânica das alterações comportamentais.

Este caso ilustra a complexidade interdisciplinar de avaliar até que ponto comportamentos atípicos resultam de condições médicas e não configuram conduta ilícita passível de sanção legal. Na prática ucraniana, a falta de pareceres médicos detalhados ou de exames psiconeurológicos abrangentes frequentemente contribui para a classificação equivocada desses incidentes como violência doméstica, aumentando o risco de responsabilização penal indevida de indivíduos com transtornos neurológicos ou psicossomáticos e comprometendo o princípio da responsabilidade individualizada.

Pareceres especializados confirmaram que tais manifestações agressivas não eram intencionais nem criminosas, resultando de disfunções fisiológicas que

requeriam intervenção médica, e não repressão legal. A análise clínica destacou erros diagnósticos, efeitos colaterais farmacológicos e a necessidade de supervisão neurológica abrangente (Tabela 1).

Tabela 1. Cronologia dos eventos clínicos, diagnóstico e tratamento

Ano	Evento / Diagnóstico	Principais Sintomas	Métodos Diagnósticos	Tratamento / Resultado
1990	Apendicectomia	Perda de consciência, convulsões	Dados arquivados indisponíveis	Suspeita de parada circulatória, alterações pós-hipóxicas
1991	Diagnóstico inicial WPW	Palpitações, dispneia, taquicardia	ECG, exame clínico	Farmacoterapia conforme padrões modernos
1994	Diagnóstico confirmado	Palpitações, dispneia, taquicardia	ECG, ecocardiografia	Monitoramento ambulatorial, intervenção cardiológica não invasiva
2002–2005	Diagnóstico incorreto “epilepsia”	Convulsões, perda de consciência	Sem EEG e neuroimagem	Carbamazepina → aumento de arritmia, déficit cognitivo
2025	Avaliação atual	Paroxismos, desmaios, sintomas vegetativos	ECG, EEG, teste térmico	AVRT confirmado, hiperreatividade vagal, carbamazepina suspensa

Fonte: Elaboração do autor

Consequentemente, um elemento essencial para prevenir erros legais é a coordenação efetiva entre instituições médicas, autoridades de proteção social e órgãos de aplicação da lei, garantindo equilíbrio entre proteção da vítima e salvaguarda de direitos de indivíduos com condições de saúde crônicas. Estes achados reforçam a necessidade de integração médico-legal, considerando os resultados das observações clínicas na avaliação jurídica das ações das partes, especialmente em conflitos de origem mista — social-comportamental e médica.

Recomendações Práticas

1. Documentação de Conflitos e Atos de Violência

A documentação adequada de conflitos e atos de violência constitui um pré-requisito fundamental para a proteção jurídica eficaz, garantindo a objetividade das investigações e salvaguardando os direitos de todos os participantes da relação jurídica. O registro sistemático, completo e juridicamente preciso dos acontecimentos determina se a vítima recebe proteção efetiva ou se a investigação permanece formal, permitindo que o autor da infração evite a responsabilização.

A documentação deve ser realizada por escrito e deve incluir:

- a data, hora e local do evento;

- informações de identificação dos participantes (incluindo testemunhas, sempre que possível);
- descrição de ações ou declarações específicas;
- evidências visuais ou auditivas (fotografias, vídeos, gravações de áudio) que possam ser anexadas à declaração ou protocolo.

Tais documentos podem assumir a forma de:

- declaração às autoridades policiais (Polícia Nacional ou Ministério Público);
- recurso às autoridades de tutela e curatela, especialmente em casos envolvendo crianças, pessoas com deficiência ou indivíduos que necessitam de cuidados contínuos;
- explicação por escrito registrada junto ao órgão competente, unidade de saúde ou tribunal.

Uma vez registrado, o documento adquire status jurídico de prova oficial, sendo que a sua ausência pode impedir o reconhecimento da violação em juízo. É importante salientar que cada elemento da documentação — número de protocolo, carimbo, assinatura de autoridade competente — possui relevância para os procedimentos probatórios subsequentes.

Além da documentação oficial, recomenda-se manter um registro pessoal (diário) dos eventos, que deve refletir:

- a cronologia dos episódios de conflito;
- alterações no estado emocional da vítima;
- reações de testemunhas ou vizinhos;
- ações das autoridades policiais ou serviços sociais após as denúncias.

Essa prática é amplamente utilizada em países da União Europeia — incluindo Países Baixos, Bélgica, Suécia e Alemanha — como medida probatória complementar aos protocolos oficiais, relatórios médicos e conclusões de exames pericial-psicológicos. Na prática do Tribunal Europeu dos Direitos Humanos (TEDH), qualquer documento sistematicamente organizado contendo registros sequenciais realizados pela vítima ou seu representante é reconhecido como prova, desde que corroborado por outras evidências.

A ausência de provas devidamente preparadas frequentemente resulta em:

- recusa de abertura de processo criminal;
- arquivamento de casos por insuficiência de evidências;
- reclassificação das ações como conflito doméstico, reduzindo assim o nível de responsabilidade legal do autor.

Portanto, a documentação possui não apenas relevância jurídica, mas também função preventiva: constitui base probatória para tribunais, autoridades de tutela e instituições médicas, permitindo o monitoramento sistemático da dinâmica da situação conflituosa. Do ponto de vista prático, esse processo é parte

integrante da segurança social familiar, possibilitando a identificação oportuna de riscos e o envolvimento de assistência profissional — psicológica, médica, social ou jurídica.

2. Verificação Médica e Psicológica

A documentação médica constitui uma forma essencial de prova em casos de violência doméstica e, simultaneamente, serve como meio de verificação de danos à saúde para fins de compensação e reabilitação [13].

Certificados médicos, conclusões de médicos, relatórios de exames médicos-legais e avaliações por psicólogos, psicoterapeutas ou psiquiatras são reconhecidos como provas admissíveis.

Deve-se dar atenção especial à violência psicológica, que pode não deixar traços físicos visíveis. Ela pode ser documentada por meio de:

- realização de avaliação psicológica;
- obtenção de conclusões de centros de apoio social;
- elaboração de relatórios de consultas de psicoterapeutas.

Na prática europeia (Polônia, Países Baixos, Alemanha), tais documentos são considerados prova primária em casos envolvendo dano moral ou aplicação de medidas restritivas.

Recomenda-se recorrer a instituições médicas autorizadas a emitir relatórios médicos oficiais, adequados para anexação aos processos judiciais ou submissão às autoridades de tutela.

Dessa forma, a verificação médica cumpre uma função dupla:

- *Probatória (jurídica)* - estabelecendo fatos para consideração judicial;
- *Proteção e reabilitação (médico-social)* - apoiando a saúde, segurança e recuperação da vítima.

3. Apoio Jurídico e Proteção dos Direitos das Vítimas

Um fator determinante na resposta eficaz a atos de violência é o envolvimento oportuno de assistência jurídica profissional. Todo cidadão possui o direito de obter consulta jurídica, apoio na elaboração de declarações, reclamações, petições, bem como representação em juízo.

Recomenda-se a contratação de advogado ou assessor jurídico já na fase de submissão da declaração inicial, pois a precisão da redação influencia diretamente a qualificação do caso (administrativo ou criminal).

O profissional jurídico tem competência para:

- apresentar requerimentos para assegurar provas;
- iniciar a aplicação de medidas protetivas ou restritivas;
- contatar autoridades de tutela em casos em que crianças ou pessoas legalmente incapacitadas estejam em risco.

Casos envolvendo violência econômica (como controle financeiro, privação de acesso a bens ou habitação) ou violência psicológica (incluindo humilhação, isolamento ou manipulação) também exigem resposta jurídica adequada, a fim de assegurar a proteção dos direitos das vítimas.

4. *Mediação e Prevenção de Conflitos Domésticos*

Nem todo conflito doméstico leva à violência. Assim, o sistema jurídico visa não apenas punir, mas também prevenir a escalada [14].

Uma das ferramentas mais eficazes para esse fim é a mediação — processo voluntário de resolução de disputas que envolve um facilitador neutro.

A mediação tem demonstrado eficácia em casos que envolvem:

- disputas familiares, como divisão de bens ou guarda de filhos;
- desentendimentos entre parentes;
- conflitos decorrentes de fatores psicológicos ou domésticos.

Nos países da União Europeia (Finlândia, Dinamarca, Alemanha), a mediação é realizada em parceria com forças de segurança, serviços sociais e psicólogos. Essa abordagem integrada possibilita:

- a evitação de procedimentos judiciais formais;
- a preservação das relações familiares;
- a recuperação psicológica e o suporte às partes envolvidas.

5. *Potencial Acadêmico e Analítico dos Materiais Coletados*

Declarações documentadas, protocolos, registros médicos e decisões judiciais podem ser utilizados não apenas como provas em casos específicos, mas também como base empírica para pesquisas jurídicas e científicas.

Tais materiais:

- facilitam a análise de tendências na prevalência da violência;
- permitem a avaliação da eficácia da legislação vigente;
- contribuem para o desenvolvimento de novos mecanismos jurídicos e sociais de proteção de populações vulneráveis.

O processamento científico de casos reais assegura uma abordagem interdisciplinar, combinando aspectos jurídicos, médicos e sociais, essencial na jurisprudência contemporânea e na formulação de políticas sociais [15].

6. *Experiência Europeia e Digitalização dos Processos de Resposta*

Os países da União Europeia implementaram com sucesso mecanismos eletrônicos para registro de casos de violência, incluindo:

- registros eletrônicos de denúncias de cidadãos;
- formulários padronizados de evidências;
- serviços online de apoio psicológico [12].

Na Lituânia, República Tcheca e França, bases centralizadas de incidentes estão acessíveis a tribunais, órgãos de segurança e serviços sociais, garantindo resposta rápida e evitando duplicação ou ocultação de informações.

Para a Ucrânia, seria recomendável criar uma plataforma eletrônica nacional para monitorar a violência doméstica, integrando dados do Ministério do Interior, tribunais, autoridades de tutela e instituições de saúde, aumentando a transparência, precisão estatística e rapidez de resposta.

7. Aspectos Médico-Legais do Atendimento às Vítimas

7.1. Organização do Atendimento Médico

Garantir atendimento médico sistemático é um fator crítico em casos em que as vítimas apresentam condições crônicas ou neurológicas graves (por exemplo, síndrome de WPW, meningioma, estados pós-operatórios).

Em situações complexas, recomenda-se uma abordagem multidisciplinar, na qual diagnóstico e tratamento são coordenados entre múltiplas instituições médicas especializadas — cardiologia, neurologia e psiquiatria. Manter documentação médica completa — incluindo resumos de alta, resultados de exames e relatórios de consilium — não apenas aprimora a qualidade do tratamento, como também possui relevância jurídica para posteriores interações com autoridades de tutela.

7.2. Aspectos Jurídicos e Sociais

A colaboração médico-legal é condição necessária para a proteção eficaz dos direitos de indivíduos que perderam a capacidade de decisão independente ou se encontram em estado de crise.

As autoridades de tutela tomam decisões com base em petições bem fundamentadas, acompanhadas de um pacote completo de evidências médicas. O suporte jurídico deve garantir equilíbrio entre a proteção dos direitos da vítima e a prevenção de abusos por parte de cuidadores. Recomenda-se coordenação contínua entre profissionais médicos, serviços sociais e especialistas jurídicos, em conformidade com os padrões europeus de assistência integral às vítimas de violência doméstica.

7.3. Recomendações para Situações de Crise

Em casos de complicações súbitas ou deterioração da saúde, é necessário um algoritmo de ação claro, incluindo:

- informações de contato dos especialistas relevantes;
- rotas para a unidade médica mais próxima;
- cópias dos principais documentos médicos (resumos de alta, atestados médicos, resultados de exames).

Simultaneamente, é fundamental fornecer apoio psicológico à vítima, especialmente durante a reabilitação prolongada. Tais medidas aumentam não apenas a probabilidade de recuperação, mas também previnem retraumatização.

8. Medidas Conclusivas

8.1. Medidas Médico-Sociais

O suporte médico e social abrangente às vítimas reduz o risco de agravamento de condições crônicas e previne lesões. Entre as medidas recomendadas incluem-se:

- supervisão urgente em instituições especializadas, por exemplo, Hospital Regional de Kharkiv, para indivíduos com doenças graves;
- monitoramento regular da saúde, incluindo avaliações cardiológicas, neurológicas e psiquiátricas;
- minimização de riscos domésticos mediante adaptação do espaço de moradia, controle sobre objetos potencialmente perigosos e integração de assistentes sociais na rotina diária.

8.2. Medidas Jurídicas

O apoio jurídico deve assegurar a proteção dos direitos das vítimas e a legitimidade das ações dos cuidadores:

- estabelecimento de tutela e supervisão legal para indivíduos incapazes de garantir sua própria segurança;
- documentação de todos os eventos, incluindo relatórios médicos, protocolos e explicações escritas que confirmem a necessidade de intervenção;
- obtenção de autorizações judiciais para exames, intervenções e outras ações que afetem a autonomia do indivíduo.

8.3. Medidas Organizacionais

A gestão eficaz do lar e da interação familiar contribui para a prevenção da escalada de conflitos:

- distribuição das responsabilidades domésticas sem coerção, garantindo a autonomia dos membros da família e reduzindo conflitos;
- treinamento familiar em procedimentos de crise, incluindo algoritmos para resposta a complicações médicas ou comportamentais.

8.4. Medidas Profissionais e Comunitárias

A combinação de cuidados profissionais com engajamento comunitário proporciona suporte social abrangente às vítimas:

- integração das atividades comunitárias com deveres de tutela contribui para a formação de uma rede de apoio e fortalece a integração social;
- equilíbrio entre engajamento social e segurança familiar previne sobrecarga do cuidador e garante estabilidade no cuidado.

Conclusões

1. Distinção Fundamental entre Conflitos Domésticos e Violência Doméstica

Diferenciar esses fenômenos é crucial para a prática da aplicação da lei e do trabalho social. Um conflito doméstico possui natureza situacional, limitado a desentendimentos verbais ou domésticos, e não envolve dano sistemático. Por outro lado, a violência doméstica caracteriza-se por ações regulares e sistemáticas de natureza física, psicológica, econômica ou sexual, que criam uma ameaça real à vida, à saúde ou à liberdade do indivíduo.

2. Documentação e Submissão de Materiais

A documentação sistemática e devidamente organizada de incidentes de conflito e violência constitui a base para a efetivação dos direitos das vítimas e para a formação de uma fundamentação probatória junto aos órgãos judiciais e administrativos. Tal documentação inclui declarações escritas, boletins de ocorrência, certificados médicos, laudos de exames médico-legais, avaliações psicológicas e materiais provenientes das autoridades de tutela.

3. Utilização da Experiência Internacional e Metodologias Padronizadas

A integração das práticas europeias de documentação, apoio médico e psicológico às vítimas evidencia a eficácia de uma abordagem abrangente. Procedimentos padronizados para coleta de provas, mediação e aconselhamento psicológico aumentam a efetividade da prevenção e da resposta legal, promovem a cooperação interinstitucional e contribuem para o estabelecimento de um sistema de monitoramento da violência doméstica na Ucrânia.

4. Abordagem Abrangente para a Proteção da Vítima

A proteção eficaz da vida, saúde e direitos das vítimas requer a combinação sistêmica de medidas médicas, legais e sociais. O planejamento oportuno do tratamento, monitoramento do estado de saúde, suporte jurídico, assistência psicológica e mediação familiar minimizam riscos, garantem a segurança da vítima e previnem a escalada de conflitos.

5. Significado Científico e Analítico dos Materiais Coletados

Os casos documentados de violência doméstica e conflitos familiares constituem um recurso valioso para pesquisas empíricas, avaliação da efetividade legislativa, desenvolvimento de recomendações interdisciplinares e aprimoramento da consciência jurídica dos profissionais.

6. Significado Social e Prático

A documentação sistemática e a proteção das vítimas asseguram o funcionamento eficaz do sistema jurídico e das instituições sociais, promovem uma cultura de interação não violenta, fomentam a responsabilidade social e apoiam uma abordagem humanística na prática da lei.

Referências

1. Kovalenko, O. (2021). *Direito Administrativo: Aspectos Processuais*. Kyiv: Yurinkom Inter.
2. Petrova, M. (2020). *Prática Judicial em Casos de Violência Doméstica*. Kharkiv: Law and Society.
3. Ivanenko, S. (2019). *Assistência Jurídica Gratuita na Ucrânia: Experiência e Desafios*. Kyiv: Legal Aid Center.
4. Conselho da Europa. (2011). *Convenção sobre a Prevenção e o Combate à Violência contra as Mulheres e Violência Doméstica (Convenção de Istambul)*. Estrasburgo: Conselho da Europa.
5. Suprema Corte da Ucrânia. (2022). *Prática de Aplicação do Artigo 173-2 do Código de Infrações Administrativas da Ucrânia em Casos de Violência Doméstica*. Kyiv: Judicial Practice.
6. Ministério da Justiça da Ucrânia. (2020). *Recomendações Metodológicas sobre Prevenção e Resposta à Violência Doméstica*. Kyiv: Ministério da Justiça da Ucrânia.
7. Agência da União Europeia para os Direitos Fundamentais. (2022). *Violência contra as Mulheres: Pesquisa em Toda a UE*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
8. Tribunal Europeu de Direitos Humanos. (2020). *Jurisprudência sobre Proteção contra a Violência Doméstica*. Estrasburgo: ECHR.
9. Verkhovna Rada da Ucrânia. (2023). *Código da Ucrânia sobre Infrações Administrativas (com Alterações e Acréscimos)*.
10. Ministério da Política Social da Ucrânia. (2021). *Recomendações Metodológicas para Avaliação de Riscos de Violência Doméstica*. Kyiv.
11. Kyselova, T. (2018). *Mediação e Acesso à Justiça na Ucrânia*. *Journal of Dispute Resolution*, 34(2), 115–132.
12. Conselho da Europa. (2021). *Manual de Direito Europeu Relativo à Violência contra as Mulheres e Violência Doméstica*. Estrasburgo.
13. Boyko, I. (2022). *Aspectos Médico-Legais da Documentação da Violência Familiar*. Kyiv: Academia Nacional de Ciências Jurídicas da Ucrânia.
14. Tymoshenko, I. (2020). *Mediação como Alternativa à Resolução Judicial de Conflitos Familiares*. Odesa: Legal Thought.
15. ONU Mulheres. (2022). *Violência de Gênero e Sistemas Multidisciplinares de Resposta*. Nova Iorque.

[JA_8]

Скочко Сергій Анатолійович, магістр будівництва та цивільної інженерії,
керівник міжнародного наукового центру управління проектами,
президент благодійної організації
"Міжнародний ЕкоСоціальний Інноваційний Фонд";
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

Serhii Skochko master's degree in Building and civil engineering,
Head of the International Scientific Centre for Project Management
President of a charitable organisation
"International Eco-Social Innovation Fund";
Technical Lane, Lozova city, Kharkiv region
e-mail: cfsahi84@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-1502-5350

家庭内対立と家庭内暴力の評価

概要

ウクライナの現代行政・法実務において、行政違反報告書の作成およびそれに関連する裁判案件の審理過程で生じる典型的な手続き上の誤りの特定は、特に重要性を増している [1, 2]。具体的な事例の分析により、法執行機関、司法制度、および無料法律援助制度の運営改善を目的とした実務的な提言を策定することが可能となる [3]。

本稿は、家庭内暴力の行為を行ったとされる告発に関連する行政手続きの事例を検討し、複数の問題点を浮き彫りにするものである。行政法分野における個別事例の法的分析は、手続き上の特徴だけでなく、医療、社会保護、人権保護に関わる学際的な側面の特定も可能にする。研究は家庭内暴力の申し立てに関する行政事件に焦点を当て、手続きおよび証拠収集に関する一連の問題を明らかにする [4, 5]。このような事例の法的検討は、手続き上の微妙な差異だけでなく、医療評価、社会福祉、人権保護に関する学際的要素も浮き彫りにする [6]。

本研究では、家庭内暴力の申し立てに関する司法事件の資料、および紛争当事者の健康状態や社会的状況を反映した提出書面や文書の法的評価を分析した。

キーワード: 家庭内紛争、家庭内暴力、法的評価、司法実務、文書化、人権保護、国際的経験、ウクライナ

序論

現代社会における紛争および暴力の問題は、多面的な社会的、心理的、法的側面を有しており、家族関係の安定、社会的安全保障、法執行機関の有効性、さらには司法制度全体の信頼性に直接的な影響を及ぼす [2, 3]。特に、家庭内紛争と家庭内暴力の事例を区別することは、法的対応の正

確性、被害者保護の適切性、行政および司法手続の効率性において極めて重要である。これらの現象はそれぞれ特有の法的アプローチ、手続規制、および社会的対応を必要とし、単純な混同は法的判断の誤りや社会的資源の非効率的使用を招く可能性がある [1, 4]。

家庭内紛争とは、家族、近隣住民、またはその他の社会集団の間で生じる利益の相違、感情的緊張、文化的相違、コミュニケーション上の誤解に起因する状況として定義される。これらの紛争は通常、体系的な侮辱、支配、生命に対する脅威を伴わず、民事または行政の仕組みを通じて解決されることが一般的である。具体的には、調停、社会福祉サービスの関与、心理カウンセリング、教育的介入などの手段が採用され、紛争当事者間の合意形成や関係修復を目的とする [6, 7]。また、家庭内紛争は、多くの場合一過性であり、適切な介入が行われれば重大な法的リスクや健康・安全上の脅威に発展することは少ないとされる。

一方で、家庭内暴力は、他者の支配、強制、従属を目的とした体系的かつ反復的な身体的、心理的、経済的、性的虐待を含む現象であり、個人の生命、健康、自由に対する具体的な脅威を伴う [1, 5]。家庭内暴力の特定は、単なる口論や一時的な衝突とは異なり、継続的な権力不均衡や暴力のパターンの存在に基づく。被害者の権利保護や司法対応、社会的支援策の適用において、法執行機関はこれらの違いを正確に判断する必要がある。

現代ウクライナにおける法執行および司法実務では、家庭内紛争と家庭内暴力を区別することは、依然として最も論争のある課題の一つである。日常的な家族間の誤解や口論が、身体的または心理的暴力の明確な指標が存在しないにもかかわらず、行政違反として分類されることがしばしば見られる。このような慣行は、比例の原則の侵害リスクを生み、法的保護制度に対する公的信頼を損なうだけでなく、家庭内暴力という概念そのものの信頼性を低下させる可能性がある [1, 5]。さらに、この問題は国家の法制度および社会政策全体に深刻な影響を及ぼす。適切な区別と標準化された手続の導入は、被害者の権利保護を強化し、司法判断の一貫性を高め、社会全体における法の支配と安全保障の信頼性向上に寄与する。

分析セクション

1. 法的解釈および司法実務

ウクライナの法制度において、家庭内暴力の問題は包括的に規定されている。一方で、家庭内紛争は必ずしも家庭内暴力の法的定義に該当するわけではない。これらは一般に、家族、親族、または近隣住民間の意見の

相違、感情的反応、または家庭内の誤解に起因するものであり、主として民事法および行政法の仕組みによって対応される。具体的には、調停、後見・保護権限機関への相談、またはその他の平和的紛争解決手続きが含まれる [1, 6]。

紛争および暴力行為の法的評価は、国内法規だけでなく、国際人権基準、特に女性に対する暴力および家庭内暴力防止のための欧州評議会条約に基づいて行われる [4]。ウクライナ法は、警察への通報、行政違反報告書の作成、裁判所への申請、緊急または差止命令の取得、社会福祉機関によるリスク評価の関与といった明確な対応手順を定めている [10]。

ウクライナの司法実務では、紛争状況の適切な文書化の重要性が強調されており、具体的には以下を含む：

- 事件の経過の記録
- 医療証明書または証人陳述の提出
- 提出資料の手続法遵守の確認
- 文書の適正な手続登録 [5]

裁判所の登記局を通じて当事者が提出した書面説明は、公式印で認証され、裁判所に受理されることで法的効力を持つ。このような文書は、法的分析や学術的解釈の証拠資料として利用でき、人権保護分野の法理論の発展に寄与する [11]。

現代の実務では、「家庭内暴力」という概念の拡張的解釈の傾向が見られ、しばしば家庭内紛争が暴力行為と混同されることがある。このアプローチは、体系的行動、故意、または法で定義される被害の要素が欠如している行為に対して不当な責任を問うリスクを伴う。そのため、「暴力」と「紛争」の概念を科学的に区別することは、公正な司法の執行における重要な前提条件である。

2025年にハルキウ地域の地方裁判所で審理された司法ケースは、家庭内の対立が誤って家庭内暴力として分類された状況を示している。資料の分析により、意図的な屈辱、身体的または心理的な損害、あるいは支配や脅迫の要素は認められなかった。

当事者は長期的な婚姻関係にあったが、一方の家族は感情の安定性に影響を与える神経学的障害を有していた。被告は家庭内の意見の不一致の存在を認めたものの、相互作用は非暴力的であり、行政違反を構成する要素はないことを強調した。被告の行為は家族の生命と安全を保護することを目的としていた [9]。

裁判所は以下を確認した：

- 体系的行動および故意の欠如は、行政違反としての行為の評価を除外する
- 家庭内紛争は法的制裁よりも社会心理的支援を必要とする
- 医療および社会的評価の実施は、司法審査の客観性に寄与し、家族関係の過剰な刑事化を防止する [4, 5]

本事件は、家庭内紛争と家庭内暴力の方法論的区別の分析例として機能する。また、法的、心理的、社会的要因を統合する学際的アプローチの必要性を示しており、現代ウクライナにおける人文的司法の基礎を形成するものである。

2. 国際的アプローチ

国際的実務において、「紛争」と「暴力」の概念を区別することは、法執行および司法解釈の基本原則を構成する [7]。イスタンブール条約（2011年） [4] および欧州人権裁判所の判例に基づき、家庭内暴力は、身体的、心理的、性的、または経済的性質の損害を体系的かつ意図的に加える行為として定義される [4, 8]。

これに対して、家庭内紛争は、感情的または家庭内の誤解に対する状況的反応として解釈され、民事または行政手段によって解決されるべきものである。欧州連合加盟国（特にドイツ、ポーランド、チェコ共和国）の法的実務は、証拠の比例性、体系的な法手続き、当事者の公平な評価が、客観的な司法審理の前提条件であることを確認している。

紛争および家庭内暴力の法的評価は、客観性、比例性、人権尊重の原則に基づく必要があり、以下の間のバランスを確保することが求められる：

- 被害者の保護
- 私生活への過剰な国家介入の防止
- 社会心理的要因の科学的根拠に基づく分析

紛争状況の文書化、評価、法的評価に関する統一的な方法論基準の実施は、一貫した司法実務の形成に寄与し、法的対応の有効性を高め、ウクライナにおける人文的司法モデルの強化につながる [12]。

3. 重篤疾患者のケアに関する法的解釈

重篤または慢性疾患を有する個人（精神神経学的疾患、循環器疾患、行動障害を含む）へのケアの問題は、医療法、社会法、行政法の交差点に位置する。

介護者の行為に対する法的評価は、比例性、適切な文書化、人権尊重の原則に基づく必要がある。行政当局は、こうした状況の法的側面のみな

らず、被介護者の行動文脈および反応を規定する医療上のリスクも評価する必要がある。

3.1. 被害者の医療状況

当該個人は、複数の重篤な医療状態を有しており、これらが複合的な医療・心理学的プロファイルを形成している：

- ウルフ・パーキンソン・ホワイト（WPW）症候群 — 高周波アブレーション（RFA）を要する循環器疾患；
- 脳の未分化髄膜腫 — 発作、攻撃性、行動制御の障害として現れる；
- **攻撃性の発現、情緒不安定、反応性易怒性を伴う行動特性。**

これらの臨床的症状は、家族内での社会的相互作用に直接的影響を及ぼし、紛争の前提条件を形成する。これらの紛争は本質的に暴力行為ではなく、基礎となる医療障害の二次的結果を表すものである。

3.2. ケアおよび当局との連携の特性

このような複雑な医療プロファイルを有する個人のケアには、以下の機関間の体系的な連携が必要である：

- 医療機関 — 診断、治療、健康モニタリングのため；
- 社会福祉サービス — 支援および継続的サポートのため；
- 後見・保護権限機関 — 後見の法的形式化のため；
- 法執行機関 — 紛争や誤解が生じた場合。

医療状態の文書化および専門医による意見の提供は、家庭内暴力に関する裁判手続において法的証拠価値を有する。特に、個人の行動表現が医学的に誘発される場合には、医療文書（証明書、退院サマリー、精神神経学的・循環器学的検査結果など）は単なる補助的証拠ではなく、故意の不存在や法的責任軽減を立証する主要な要素となる。

法執行機関および裁判所は、個人の行動の医学的原因を考慮する必要がある。特に、疾患の症状が感情の爆発、方向感覚の喪失、攻撃的反応、一時的な行動制御の欠如を引き起こす場合に重要である。この学際的アプローチは、公正な司法の実現、健康状態の刑事化防止、および個別責任の原則遵守を確保する。

3.3. 安全性／リスク要因

心臓学的、神経学的、および行動学的症状の組み合わせは、保護者や親族の行動を評価する際に、倫理的・手続的基準だけでなく、医学的因果関係に基づく法的評価が必要となる複雑な臨床および社会的状況を形成する。これは、個人の健康状態と現実認識能力、リスク評価能力、ストレスへの対応能力、社会的または家庭的責任を果たす能力との間に科学的に根

拠のある関連を確立することを意味する。実務上、このような評価は、医療専門知識、心理学的評価、法的解釈を統合した学際的アプローチを必要とする。目的は、保護や支援の決定が、推測や主観的判断ではなく、当該個人の実際の認知的・感情的能力を反映するようにすることであり、人権、尊厳、および比例原則に沿った措置を確保することである。

影響を受ける個人のリスクレベルは、以下の要因を考慮した機能モデルとして表現できる（式1）：

$$R = f(M, P, C) = M + P + C \quad (1)$$

記号の説明

M：医療要因（WPW症候群、髄膜腫）

P：行動要因（攻撃性、感情反応性）

C：家庭要因（ストレス状況、生活環境）

出典：著者作成

このモデルにより、家庭内事件のリスクを定量的に評価することが可能となり、誤って暴力行為として分類される事例を減らすことができる（図1）。

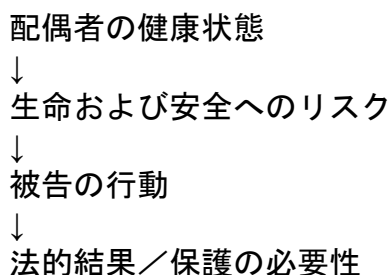


図1. ストレス状態の指標

このような事例では、行動の形式的解釈により、故意性や違法性に関して誤った結論が導かれる可能性がある。したがって、家庭内・家族間紛争における責任の範囲、善意、および客観性を判断する際には、法医学的および心理・精神医学的評価が不可欠である。

2005年から2009年にかけて、妻の兄弟（障害者）が同居する家庭では、最初は家庭内紛争として解釈された攻撃的行動が観察された。しかし、その後の医学的検査により、個人の感情的安定性および行動反応に直接影響を与える神経学的および心臓学的障害が存在することが明らかになった。これらの症状には、衝動性、外部刺激への不適切な反応、周期的な見当識障害が含まれ、行動変化の有機性質を示していた。

後の専門家の結論では、これらの攻撃的表現は意図的でも犯罪的でもなく、法的制裁ではなく医療介入を必要とする生理学的機能障害に起因することが確認された。臨床経過の分析により、診断誤りの期間、薬物治療の副作用、包括的な神経学的監督の必要性が明らかになった（表1）。

表1. 臨床経過、診断、治療の年表

年	事象／診断	主な症状	診断方法	治療／結果
1990	虫垂切除	意識喪失、けいれん	記録データなし	循環停止疑い、低酸素後変化
1991	WPW症候群初診断	動悸、呼吸困難、頻脈	心電図、臨床検査	現代基準に基づく薬物治療
1994	診断確認	動悸、呼吸困難、頻脈	心電図、心エコー	外来モニタリング、非侵襲的心臓介入
2002–2005	誤診「てんかん」	発作、意識喪失	EEG・画像検査なし	カルバマゼピン→不整脈増加、認知機能低下
2025	現評価	発作、失神、自律神経症状	心電図、EEG、温熱テスト	AVRT確認、迷走神経過敏検出、カルバマゼピン中止

出典：著者作成

このような事例では、健康状態に起因する病的行動と、法的評価の対象となる違法行為との境界を判断する複雑な学際的課題が生じる。ウクライナの法執行実務では、タイムリーな医学的結論や包括的な心理神経学的評価が欠如している場合、これらの事象が誤って家庭内暴力として分類されることが多い。

結果として、神経学的または心身症的障害を有する個人を犯罪化するリスクが生じ、個別責任の原則が侵害される可能性がある。このような法的誤りを防ぐ鍵は、医療機関、社会保護当局、および法執行機関間の効果的な連携を確立することであり、被害者保護と慢性疾患を有する個人の権利保護とのバランスを実現する。

これらの知見は、医学的観察の結果を当事者の行動評価に統合する医学的事法的アプローチの必要性を強調しており、社会的・行動的要因と医学的要因が混在する紛争事例において特に重要である。

実務上の勧告

1. 紛争および暴力行為の文書化

紛争や暴力行為の適切な文書化は、効果的な法的保護を実現するための基本的前提であり、調査の客観性を保証し、法的関係に関わるすべての当事者の権利を保護する。事案を体系的かつ完全、かつ法的に正確

に記録することは、被害者が実質的な保護を受けられるか、あるいは調査が形式的に留まり加害者が責任を免れるかを決定する要因となる。

文書化は書面で行われ、次の事項を含む必要がある：

- 事象の発生日時および場所
 - 参加者の特定情報（可能であれば証人も含む）
 - 具体的な行動や発言の記録
 - 証言や議事録に添付可能な視覚・音声証拠（写真、映像、音声記録）
- これらの文書は、以下の形式をとることができる：
- 法執行機関（国家警察または検察庁）への陳述書
 - 児童、障害者、継続的なケアを必要とする個人に関わる場合の後見・保護権限機関への申立書
 - 関係機関、医療施設、裁判所に登録された書面による説明

登録後、文書は公式証拠としての法的効力を持ち、欠如している場合は裁判における違反事実の立証を妨げる可能性がある。各文書要素（受付番号、印章、権限ある職員の署名）は、後続の証拠手続において重要な意味を持つ。

公式文書に加え、記録された事象を個人的に記録する日誌（ログ）を保持することが推奨される。日誌には次の内容を反映させるべきである：

- 紛争エピソードの時系列
- 被害者の感情状態の変化
- 証人や近隣住民の反応
- 報告後の法執行機関や社会福祉機関の対応

この手法は、オランダ、ベルギー、スウェーデン、ドイツなど欧州連合諸国で、公式議事録、医療報告書、法心理学的評価の結論を補完する補助的証拠手段として広く活用されている。また、欧州人権裁判所（ECHR）の実務においても、被害者またはその代理人によって体系的に記録された連続的な文書は、他の証拠により裏付けられる場合、証拠として認められる。

適切に準備された証拠が欠如している場合、以下の事態が生じることがある：

- 刑事手続の開始拒否
- 証拠不十分による事件の却下
- 行為の家庭内紛争への再分類により、加害者の法的責任の軽減

したがって、文書化は法的意義だけでなく予防的機能も有する。裁判所、後見機関、医療機関での証拠基盤を形成し、紛争状況の動態を体系的に監視できる。実務的には、これは家族社会保障の重要要素であり、リスクの早期把握と心理的・医療的・社会的・法的支援の迅速な介入を可能にする。

2. 医学的および心理学的検証

医学的文書は、家庭内暴力事件における重要な証拠の一形態であると同時に、賠償およびリハビリテーションの目的で健康被害を検証する手段としても機能する [13]。

医療証明書、医師の所見、法医学的診断書、心理学者、心理療法士、精神科医による評価は、いずれも証拠能力を有すると認められる。特に、身体的痕跡を残さない心理的暴力に対しては、以下の方法で文書化が推奨される：

- 心理評価の実施
- 社会的支援センターからの所見取得
- 心理療法士による相談報告書の作成

欧州の実務（ポーランド、オランダ、ドイツ）では、このような文書は、精神的損害や制限命令の適用を伴う事件において一次証拠として取り扱われる。

裁判資料への添付や後見機関への提出に適した形で、公式な医療報告書を発行できる医療機関に依頼することが推奨される。

したがって、医学的検証は二重の機能を果たす：

- 証拠的（法的）機能 — 裁判審理のための事実確認
- 保護・リハビリ機能 — 被害者の健康、安全、回復を支援

3. 法的支援および被害者権利の保護

暴力行為への効果的対応には、専門的法的支援の迅速な活用が重要である。市民は、法的相談、陳述書・請求書・申立書作成支援、裁判代理の権利を有する。

初回の陳述提出段階で弁護士または法的代理人を関与させることが推奨される。文言の正確性が事案の法的区分（行政事件か刑事事件か）に直接影響するためである。

法的専門家は以下の権限を有する：

- 証拠保全のための申立ての提出
- 保護命令または制限命令の申請の開始
- 児童や法的能力のない者が危険にある場合の後見機関への連絡

経済的暴力（財産や住宅へのアクセス制限、財務管理の強制）や心理的暴力（屈辱、孤立、操作など）を伴う事案においても、被害者の権利保護を確実にするために適切な法的対応が必要である。

4. 調停および家庭内紛争の予防

すべての家庭内紛争が暴力に発展するわけではない。そのため、法制度の課題は単に処罰することに留まらず、紛争のエスカレーションを予防することにもある [14]。

この目的に最も有効な手段の一つが調停であり、第三者の中立的ファシリテーターが関与する自発的な紛争解決プロセスである。

調停は以下の事案で有効性が確認されている：

- 財産分与や子育てに関する家族紛争
- 親族間の誤解
- 心理的または家庭内ストレス要因に起因する紛争

欧州連合諸国（フィンランド、デンマーク、ドイツ）では、調停は法執行機関、社会福祉機関、心理専門家と連携して実施される。この統合的アプローチにより、以下が可能となる：

- 公式裁判手続の回避
- 家族関係の維持
- 関与当事者の心理的回復および支援

5. 収集資料の学術的・分析的潜在性

文書化された陳述書、議事録、医療記録、裁判所の決定は、個別事案における証拠としてだけでなく、法学および科学的研究の経験的基盤としても活用可能である。

これらの資料は以下を可能にする：

- 暴力発生傾向分析
- 現行法の有効性の評価
- 脆弱な集団の保護に向けた新たな法的・社会的メカニズムの開発

実例の科学的分析により、法・医療・社会を統合する学際的アプローチが可能となり、現代司法学・社会政策で不可欠である [15]。

6. 欧州の経験および対応プロセスのデジタル化

欧州連合諸国では、暴力事例の記録に関する電子的メカニズムが成功裏に導入されており、具体的には以下の手段がある：

- 市民報告の電子登録簿
- 標準化された証拠フォーム
- オンライン心理支援サービス [12]

リトアニア、チェコ共和国、フランスでは、中央集約型の事例データベースが裁判所、法執行機関、社会福祉機関からアクセス可能であり、迅速な対応を可能にし、情報の重複や隠蔽を防止している。

ウクライナにおいては、内務省、裁判所、後見機関、医療機関からのデータを統合した、家庭内暴力監視のための国家電子プラットフォームを設置することが望ましい。このようなプラットフォームにより、透明性、統計精度、対応速度の向上が期待できる。

7. 被害者ケアにおける医事法的側面

7.1. 医療ケアの組織化

重度の慢性疾患や神経疾患（例：WPW症候群、髄膜腫、術後状態）を有する被害者では、体系的な医療ケアの確保が極めて重要である。

複雑な事例では、多専門分野による学際的アプローチが推奨される。診断および治療は循環器科、神経内科、精神科など複数の専門機関で連携して行うべきである。退院要約書、検査結果、コンサルウム報告書を含む包括的な医療文書の維持は、治療の質向上と後見機関とのやり取りにおける法的意義を兼ね備える。

7.2. 法的小および社会的側面

医事法的協力は、独立した意思決定能力を失った個人や危機的状況にある者の権利を効果的に保護するために必要不可欠である。

後見機関は、十分に立証された申立書と完全な医療証拠のパッケージに基づいて判断を下す。法的支援は、被害者の権利保護と介護者による虐待防止のバランスを確保する役割を果たす。医療専門家、社会福祉機関、法的専門家の継続的な連携は、家庭内暴力被害者への包括的支援に関する欧州基準に沿った対応を実現する。

7.3. 危機的状況における勧告

健康状態の急激な悪化や合併症が生じた場合には、明確な行動アルゴリズムが必要である。これには以下が含まれる：

- 関連専門家の連絡先
- 最寄りの医療施設への経路
- 主要医療文書のコピー（退院要約書、医療証明書、検査結果）

同時に、被害者への心理的支援は不可欠であり、特に長期リハビリ期間中に重要である。この措置は回復の可能性を高め、再トラウマ化の防止にも寄与する。

8. 総括的措置

8.1. 医療および社会的措置

被害者への包括的な医療・社会的支援は、慢性疾患の悪化リスクを低減し、傷害を防止する。推奨される措置には以下が含まれる：

- 重篤な疾病者への専門機関（例：ハリコフ州立病院）での緊急監督
- 循環器科、神経内科、精神科を含む定期的な健康モニタリング
- 生活空間の適応、潜在的危険物の管理、日常生活へのソーシャルワーカーの統合による家庭内リスクの最小化

8.2. 法的措置

法的支援は、被害者の権利保護および介護者の行為の正当性を確保するものでなければならない：

- 自身の安全を確保できない者に対する後見および法的監督の設定
- 医療報告書、議事録、介入の必要性を証明する書面を含むすべての事象の文書化
- 個人の自律性に影響する検査、介入、その他の行為について裁判所の許可を取得

8.3. 組織的措置

家庭内管理および家族間相互作用の効果的運用は、紛争のエスカレーションを防止する：

- 強制を伴わない家庭内責任の分配により、家族メンバーの自律性を確保し、対立を軽減
- 医療的または行動上の合併症への対応アルゴリズムを含む危機手順に関する家族訓練

8.4. 専門職および地域社会の措置

専門的介護と地域社会の関与を統合することで、被害者への包括的な社会的支援が提供される：

- 後見業務と地域活動の統合により、支援ネットワークを構築し、社会的統合を促進
- 社会的関与と家族の安全とのバランスを確保することで、介護者の過負荷を防ぎ、ケアの安定性を維持

結論

1. 家庭内紛争と家庭内暴力の基本的区別

これらの現象の区別は、法執行実務および社会福祉において重要である。家庭内紛争は状況的で、言葉の行き違いや家庭内の誤解に限られ、体系的な害は伴わない。一方、家庭内暴力は、生命・健康・自由に実質的脅威をもたらす身体的、心理的、経済的、または性的行為が定期的かつ体系的に行われることを特徴とする。

2. 事件の文書化および資料提出

紛争や暴力の事案を体系的かつ適切に文書化することは、被害者の権利実現および司法・行政機関における証拠基盤確保の基礎となる。このような文書には、陳述書、警察報告書、医療証明書、法医学的鑑定報告書、心理評価、後見機関からの資料が含まれる。

3. 国際的経験および標準化手法の活用

被害者支援に関する文書化、医療・心理的支援の欧州諸国の実践を統合することで、包括的アプローチの有効性が示される。証拠収集、調停、心理カウンセリングの標準化手続きを用いることで、予防および法的対応の効果が向上し、機関間協力が促進され、ウクライナにおける家庭内暴力モニタリングシステムの確立に寄与する。

4. 被害者保護における包括的アプローチ

被害者の生命、健康、権利を効果的に保護するには、医療、法的、社会的措置の体系的結合が必要である。治療計画の適時立案、健康状態のモニタリング、法的支援、心理的援助、家族調停を組み合わせることで、リスクを最小化し、被害者の安全を確保し、紛争のエスカレーションを防止できる。

5. 収集資料の科学的・分析的意義

家庭内暴力および家庭内紛争の文書化された事例は、実証的研究、立法の有効性評価、学際的提言の作成、専門職の法意識向上のための貴重な資源となる。

6. 社会的・実務的意義

体系的な文書化と被害者の包括的保護は、法制度および社会制度の機能を保障し、非暴力的相互作用の文化を育み、社会的責任を促進し、法執行における人間中心のアプローチを支援する。

参考文献

1. Kovalenko, O. (2021). 『行政法：手続的側面』 キエフ：ユリンコム・インテル.
2. Petrova, M. (2020). 『家庭内暴力事件における司法実務』 ハルキウ：法と社会.
3. Ivanenko, S. (2019). 『ウクライナにおける無料法的支援：経験と課題』 キエフ：法的支援センター.
4. 欧州評議会 (2011). 『女性及び家庭内暴力の防止並びにこれらとの闘いに関する条約（イスタンブール条約）』 ストラスブール：欧州評議会.

5. ウクライナ最高裁判所 (2022). 『家庭内暴力事件におけるウクライナ行政違反法第173-2条の適用実務』 キエフ：司法実務資料.
6. ウクライナ司法省 (2020). 『家庭内暴力の予防及び対応に関する方法論的勧告』 キエフ：ウクライナ司法省.
7. 欧州連合基本的権利庁 (2022). 『女性に対する暴力：EU全域調査』 ルクセンブルク：欧州連合出版局.
8. 欧州人権裁判所 (2020). 『家庭内暴力からの保護に関する判例法』 ストラスブール：ECHR.
9. ウクライナ最高議会 (2023). 『改正・補足を含むウクライナ行政違反法典』.
10. ウクライナ社会政策省 (2021). 『家庭内暴力リスク評価に関する方法論的勧告』 キエフ.
11. Kyselova, T. (2018). 「ウクライナにおける調停と司法アクセス」 『紛争解決ジャーナル』 第34巻第2号, 115–132頁.
12. 欧州評議会 (2021). 『女性及び家庭内暴力に関する欧州法ハンドブック』 ストラスブール.
13. Boyko, I. (2022). 『家庭内暴力の医学・法学的文書化の諸側面』 キエフ：ウクライナ国立法科学院.
14. Tymoshenko, I. (2020). 『家庭紛争の司法外解決手段としての調停』 オデーサ：法的思考社.
15. 国連女性機関（UN Women）(2022). 『ジェンダーに基づく暴力と学際的対応システム』 ニューヨーク.

Підсумки і перспективи / Summary and Outlook

Серія InPlataforma спрямована на підтримку інтеграції науки, освіти та суспільства, створюючи відкритий простір для міждисциплінарного діалогу та обміну знаннями. Матеріали збірки формують платформу для розвитку нових ідей, реалізації спільних проєктів та впровадження інноваційних підходів у різних галузях науки.

The InPlataforma series is dedicated to fostering the integration of science, education, and society, creating an open space for interdisciplinary dialogue and knowledge exchange. The collection provides a platform for developing new ideas, implementing joint projects, and introducing innovative approaches across diverse scientific fields.

Проєкт також сприяє активній взаємодії між дослідниками, викладачами, студентами та практиками, підтримуючи розвиток критичного мислення, творчості та відповідального підходу до наукової діяльності. Він покликаний об'єднувати знання, дослідження та практичні дії для сталого розвитку та підвищення якості життя в суспільстві.

The project also encourages active collaboration among researchers, educators, students, and practitioners, supporting the development of critical thinking, creativity, and a responsible approach to scientific activity. It is intended to unite knowledge, research, and practical action for sustainable development and improved quality of life in society.

Нехай ця збірка слугує джерелом нових ідей, наукових відкриттів і партнерських ініціатив, які зміцнюють зв'язок між наукою, освітою та суспільством, сприяючи поширенню гуманістичних цінностей і міждисциплінарного співробітництва.

May this collection serve as a source of new ideas, scientific discoveries, and collaborative initiatives that strengthen the connection between science, education, and society, promoting the dissemination of humanistic values and interdisciplinary collaboration.

Додатково, збірка підкреслює практичну значущість наукових результатів для розвитку громад, впровадження інновацій та підтримки сталого управління ресурсами, створюючи міст між академічною спільнотою та реальними соціальними потребами.

Additionally, the collection highlights the practical relevance of scientific findings for community development, the implementation of innovations, and the support of sustainable resource management, bridging the gap between the academic community and real societal needs.