

*PROCEEDINGS
OF THE XX INTERNATIONAL CONFERENCE
ON SCIENCE AND EDUCATION*

*January 03–11, 2026,
Hajduszoboszlo, (Hungary)*



НАУКА ТА ОСВІТА

*Збірник праць
XX Міжнародної наукової конференції*

*03–11 січня, 2026 р,
Хайдусобосло (Угорщина)*

National Council of Ukraine for Mechanism and Machine Science
(Member Organization of the International Federation
for Promotion of Mechanism and Machine Science)

Council of Scientific and Engineer Union in Khmelnytskyi Region
Khmelnytskyi National University

Israeli Independent Academy for Development of Sciences

SCIENCE AND EDUCATION

XX International Conference

*January 03–11, 2026,
Hajduszoboszlo (Hungary)*



НАУКА ТА ОСВІТА

Збірник праць
XX Міжнародної наукової конференції

*03–11 січня 2026 р.,
Хайдусобосло (Угорщина)*

УДК 001+378

H56

*Затверджено до друку радою
Хмельницької обласної організації СНЮ України
та президією Українського національного комітету IFToMM,
протокол № 4 від 20.12.2025*

Подані доповіді XX Міжнародної наукової конференції «Наука та освіта», проведеної у м. Хайдусобосло (Угорщина) у січні 2026 р. за напрямками: освіта та її інформатизація; дизайн і комп'ютерна графіка; будівництво та архітектура; загальні проблеми техніки, технологій та матеріалознавства.

Матеріали опубліковані в авторській редакції.

Головний редактор: д-р техн. наук, проф. **Горошко А. В.** (Україна)

Редакційна колегія:

акад. НАПНУ, д-р техн. наук, проф. **Гуржій А. М.** (Україна);
д-р техн. наук, проф. **Бубулів А.** (Литва); д-р, проф. **Прейгерман Л. М.** (Ізраїль);
д-р екон. наук, проф. **Костін Ю. Д.** (Україна);
д-р техн. наук, проф. **Гречанюк В. Г.** (Україна);
д-р техн. наук, проф. **Петрашек Я.** (Польща);
д-р пед. наук, проф. **Карташова Л. А.** (Україна);
канд. пед. наук, доц. **Зембицька М. В.** (Україна)

H56 **Наука та освіта** : зб. пр. XX Міжнар. наук. конф., 3–11 січ. 2026 р., м. Хайдусобосло, Угорщина. – Хмельницький : ХНУ, 2025. – 146 с. (укр., англ.).

ISBN 978-966-330-458-8

The problems of education, design, information systems and technologies, construction and architecture, technology, as well as economic and managerial aspects of these issues are considered.

Designed for scientists and engineers who specialize in the study of these problems.

Розглянуто проблеми освіти, дизайну, інформаційних систем і технологій, будівництва та архітектури, техніки, матеріалознавства.

Для науковців та інженерних працівників, які спеціалізуються в області вивчення цих задач.

УДК 001+378

ISBN 978-966-330-458-8

© Автори статей, 2025

© ХНУ, оригінал-макет, 2025

ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УПРАВЛІННІ ПРОФЕСІЙНИМ РОЗВИТКОМ ПЕДАГОГІВ: ФУНКЦІЇ, МОЖЛИВОСТІ ТА РИЗИКИ В УМОВАХ ВІЙНИ В УКРАЇНІ

Гуржій А. М.¹, Карташова Л. А.², Сорочан Т. М.³, Зайчук В. О.⁴

^{1,4}Національна академія педагогічних наук України, Київ, вул. Січових Стрільців, 52а

^{2,3}Державний заклад вищої освіти УМО НАПН України

Київ, вул. Січових Стрільців, 52а

E-mail: ¹gurzhij.andrij@gmail.com, ²lkartashova@uem.edu.ua

³bahger.teacher@gmail.com, ⁴zaichuk@narada.gov.ua

Анотація. У статті обґрунтовані технології забезпечення основних функцій управління професійним розвитком педагогів за допомогою інструментарію штучного інтелекту. Приділено увагу умовам застосування технологій штучного інтелекту для управління професійним розвитком педагогів в умовах війни в Україні. Розкрито значення технологій штучного інтелекту для подолання техногенних і безпекових чинників, що впливають на організацію професійного розвитку педагогів. Акцентовано увагу на технологіях штучного інтелекту, що дозволяють ефективно визначати зміст післядипломної освіти педагогів, забезпечувати вільний доступ до неї, урізноманітнювати її форми, створювати навчальні матеріали. Охарактеризовано ризики застосування штучного інтелекту в управлінні професійним розвитком педагогів.

Ключові слова: штучний інтелект, цифрові технології, управління, професійний розвиток, педагоги, технології.

Цифровізація суспільства вказала на потребу радикальних змін – цифрова освіта стає невід’ємною частиною професіоналізму педагога [3; 4]. Задовольнити індивідуальні потреби кожного педагога, який спрямовується на професійний розвиток у післядипломній освіті, за допомогою виключно традиційних засобів, в епоху розвитку цифрових технологій (ЦТ) є практично недосяжною ціллю. Якщо говорити про цифрові технології, які інструмент досягнення зазначеного, то необхідно враховувати, що технологія освіти дорослих матиме позитивний вплив на результати лише за умови, коли вона розроблена та спрямована на отримання очікуваних результатів [7; 8].

Однак, «Зараз нам потрібно радикально переглянути всю нашу освітню систему, щоб надати майбутнім учням необхідний набір навичок для досягнення успіху. Нові технології, такі як Інтернет речей (IoT), віртуальна реальність (VR) і штучний інтелект (AI), відіграватимуть дедалі помітнішу роль у середній освіті та створюватимуть більш привабливе навчальне середовище. Технологічні інструменти можуть адаптувати контент відповідно до індивідуальних потреб, дозволяючи студентам повністю розкрити свій потенціал, одночасно заохочуючи необхідне навчання протягом усього життя» [1].

За таких умов процес професійного розвитку педагогів стає досить складним об'єктом управління. AI здатний враховувати багато факторів і пропонувати декілька кращих варіантів. Але остаточний вибір робить людина і несе відповідальність за свій вибір.

Відповідно до зазначеного вбачається потреба заглибитися в деякі інноваційні цифрові тенденції, які вже формують освітню систему, зокрема технології AI. Проте, щонайперше, розглядаючи інноваційність AI, слід зауважити, що вона не буде полягати у виборі інструментів, а в тому, як вони інтегруються в освітній процес [5; 6].

Можна виокремити такі функції управління професійним розвитком педагогів у післядипломній освіті, як цілепокладання, планування, організацію, контроль, аналіз. Перехід до їх аналітичного огляду спонукає до ознайомлення з майбутніми трендами в освіті [2]:

Гібридні моделі навчання: на відміну від онлайн-навчання, викликаного пандемією COVID-19, повноцінне гібридне навчання є продуманим і спеціально розробленим, що включає навчальну програму, розроблену для такої моделі; це є набагато більше, ніж просто взяти щоденну навчальну програму та подати її онлайн; гібридні моделі усе-реднюють особисту взаємодію з гнучкістю онлайн.

Персоналізація на основі штучного інтелекту: вдосконалені алгоритми та інструменти AI все частіше використовуватимуться для створення персоналізованого навчального досвіду; незалежно від того, чи йдеться про адаптацію змісту курсу відповідно до індивідуального темпу навчання чи використання прогностичної аналітики для виявлення та підтримки студентів із групи ризику, AI має змінити особистісний підхід в освіті. Акцент на навичках м'якого спілкування: ринок праці постійно розвивається, і зараз роботодавці, як ніколи, цінують навички м'якого спілкування, які включають критичне мислення, здатність до адаптації та емоційний інтелект; задля цього необхідно, щоб у навчальній програмі відповідно було зміщено фокус на навчання м'яким навичкам. Віртуальна реальність (VR) і доповнена реальність (AR) у класних кімнатах: захоплююче навчання за допомогою VR і AR, ймовірно, набуває більшої популярності.

Децентралізовані освітні платформи: блокчейн в освіті; децентралізовані платформи можуть запропонувати більше контролю над своїми освітніми даними, обліковими даними та досягненнями; це має допомогти зробити більш плавним перехід між закладами освіти/країнами.

Навчання впродовж життя та мікроакредитації: часи, коли освіта закінчувалася отриманням ступеня, відходять у минуле; безперервне навчання стає нормою, а мікрокредитування дозволяє отримувати певні навички, не вкладаючи коштів у повноцінні курси.

Цілепокладання можна розглядати на декількох рівнях управління. На рівні суспільства і держави ставиться мета забезпечити такий рівень професіоналізму педагогів, що дозволить вирішувати проблему розвитку людського капіталу. На рівні закладу освіти мета професійного розвитку педагогів розглядається в контексті кадрового менеджменту як вимоги до осіб, які обіймають певні посади, мають забезпечити якість освіти здобувачів. На особистісному рівні кожен педагог сам визначає мету власного професійного розвитку, що дуже часто пов'язано з перспективами професійної кар'єри, особистісного вдосконалення, подолання певних труднощів у професійній діяльності. При цьому важливою вимогою до цілепокладання є реальність цілей, тобто, можливість отримати реальний результат за визначений проміжок часу.

AI може допомогти в узгодженні цілей професійного розвитку різного рівня, оптимізувати їх. Наприклад, завантаживши на свої гаджети платформу ClickUp (<https://clickup.com>) викладачі, зберігаючи документи в одному місці, не перемикаючись між програмами, можуть: організовувати та автоматизувати рутинні завдання; розробляти та керувати проектами; налаштовувати робочі місця для оптимізації професійних процесів тощо.

Необхідно зауважити, що ClickUp інтегрується з різноманітними іншими інструментами та платформами як Календар Google, Google-диск та Google Keep, забезпечуючи тим самим планування, що розглядається як вибір педагогом індивідуальної траєкторії професійного розвитку. Надавачі освітніх послуг у сфері післядипломної освіти і підвищення кваліфікації створюють основу для вибору педагогами змісту, форм, термінів, технологій професійного розвитку. Чим більше пропозиція, тим ширше можливості споживачів зробити оптимальний вибір і задовольнити свої освітні і професійні потреби, підвищити рівень професіоналізму. Ринок освітніх послуг в післядипломній освіті і підвищенні кваліфікації можна охарактеризувати як ринок споживача, оскільки споживачі в результаті перевищення пропозиції над попитом на цьому ринку мають можливість вибору надавачів, у яких вони вважають за необхідне придбати послугу. Це здобуток сучасної української освіти, який свідчить про подолання командно-адміністративної системи управ-

ління, яка жорстко регламентувала ринок надавачів послуг, чим обмежувала можливості вибору споживачів.

Проте розмаїття пропозицій не завжди поєднується з якістю послуг, зручністю їх отримання для споживачів. За цих умов педагог, обираючи індивідуальну траєкторію професійного розвитку, має витратити час на пошук інформації щодо потрібних йому заходів з професійного розвитку, узгоджувати плани щодо участі в них з графіком роботи, особистими справами тощо. Також педагогу необхідна інформація щодо якості освітніх послуг, що надаються, відомості щодо умов навчання, верифікації документу тощо. Ураховуючи, що період професійного розвитку педагогів (андрагогічний цикл) становить 3–5 років, упродовж яких суттєво оновлюються вимоги до професійної діяльності, що потребує відповідного оновлення компетентностей, то планування визначається як довгострокове. Разом із тим, формування м'яких навичок відбувається значно швидше, також значно швидше оновлюються технології професійної діяльності. Особливо впливають на професійний розвиток кризові умови, такі, як епідемія, війна, що зумовлюють необхідність швидкої зміни професіоналізму – трансформації професійного розвитку.

Отже, як вибір індивідуальної траєкторії педагогом і планування її реалізації, так і планування освітніх послуг надавачами, є багатфакторними процесами. Узгодити і конкретизувати ці плани, зробити їх реальними для виконання може допомогти AI. Проте деяке сповільнення залучення AI в освітній процес, що спостерігається наразі, можна пояснити тим, що заклади освіти завжди мали обмежені ресурси та незліченну кількість інших, автентичних пріоритетів. На другу позицію можна поставити те, що педагоги, знаходячись у постійній боротьбі з великим навантаженням, не мали часу для інновацій. Звісно, одне з цільних місць в процесі використання ЦТ займає турбота про конфіденційність та безпеку. Однак, можна відзначити реальну цінність AI – звільнення часу педагогів для підвищення рівня професіоналізму, самонавчання та післядипломного навчання, спілкування зі своїми студентами/учнями з метою формування їх соціальних навичок, мотивації до навчання, формування патріотизму тощо.

Таким чином, можемо констатувати, що управління професійним розвитком педагогів із застосуванням технологій AI відповідає сучасним вимогам освіти дорослих, основним напрямом державної політики в галузі освіти, запитам слухачів, замовників і стейкхолдерів, а технології – трендам цифрового суспільства і суспільства знань. Штучний інтелект допомагає учасникам освітнього процесу опрацьовувати складні ситуації, великі масиви даних, пропонувати декілька варіантів для створення індивідуальних траєкторій професійного розвитку педагогів, оптимізувати управлінські функції. Застосовуючи штучний інте-

лект в управлінні професійним розвитком педагогів, варто пам'ятати, що він має поступово «навчатися» виконувати різні функції. Якщо даних для виконання ним завдань бракуватиме, можуть виникати помилки, які встановити і виправити може лише людина.

Список використаних джерел

1. Hooijndink, van R., (2021). What will schools really look like in the future? URL: <https://www.patrizia.ag/en/real-insights/real-innovation/what-will-schools-really-look-like-in-the-future/> (дата звернення: 28.10.2025).
2. Olmstead, M. (2024). Education trends to watch in 2024. January 2, 2024. URL: <https://www.americanboard.org/blog/education-trends-to-watch-in-2024/> (дата звернення: 17.11.2025).
3. Карташова, Л. (2018). Розвиток цифрової компетентності педагога в інформаційно-освітньому середовищі закладу загальної середньої освіти / Л. А. Карташова Н. В. Бахмат, І. В. Пліш. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2018, Т. 68, № 6. URL: <http://lib.iitta.gov.ua/713236/>
4. Карташова, Л. (2020). Цифровий порядок денний розвитку освіти: спрямованість на формування цифрових компетентностей / Л. А. Карташова, І. В. Пліш. Науковий вісник Мукачівського державного університету. Серія «Педагогіка та психологія», Вип. 1 (11). – 2020, DOI 10.31339/2413-3329-2020-1(11)-135-139.
5. Карташова, Л. (2021). Штучний інтелект як засіб формування освітнього досвіду майбутнього. Співавтори: Сорочан Т., Шеремет Т. *Наука та освіта* : зб. пр. XVI Міжнар. наук. конф., 4–11 січня 2022 р., м. Хайдусобосло, Угорщина / за ред. А. В. Горошка. – Хмельницький : ХНУ, 2021. – 184 с. (укр., рос., англ.). <https://iftomm.ho.ua/docs/SE-2022.pdf>
6. Кириченко, М. (2021) Професійний розвиток педагогів у системі формальної й неформальної післядипломної освіти в період карантинних обмежень. Співавт.: Сорочан Т. М., Карташова Л. А., Оліфіра Л. М. *Вісник післядипломної освіти*. Вип. 18 (47) «Серія «Педагогічні науки» (Категорія «Б»)) С. 46–60. URL: [https://doi.org/10.32405/2218-7650-2021-18\(47\)](https://doi.org/10.32405/2218-7650-2021-18(47))
7. Кириченко, М. (2023). Цифрова екосистема «Український відкритий університет післядипломної освіти»: модель 6.0 / Кириченко М., Сорочан Т., Карташова Л. *Збірник наукових праць «Вісник післядипломної освіти» серія «Педагогічні науки»*, вип. 25 (54) 2023, с. 105–130 URL: [https://doi.org/10.58442/2218-7650-2023-25\(54\)-105-130](https://doi.org/10.58442/2218-7650-2023-25(54)-105-130).
8. Сорочан, Т. (2018). Професійний розвиток педагогів у післядипломній освіті. Концептуальні засади розвитку освіти дорослих: світовий досвід, українські реалії і перспективи : зб. наук. ст. / за ред. Кременя В. Г., Ничкало Н. Г.; уклад. Аніщенко О. В., Лук'янова Л. Б. – Київ : Знання України, 2018. – 616 С. – С. 198–208.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИКЛАДАННІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ

Забарило О. В.¹, Забарило П. О.², Коротких Ю. А.³
КНУБА, проспект Повітряних Сил, 31; Київ, Україна
E-mail: ¹zabarylo.ov@knuba.edu.ua, ²zabarylo_po-2023@knuba.edu.ua
³korotkykh.iua@knuba.edu.ua

Анотація. *Описано необхідність та шляхи застосування певних видів освітніх інформаційних технологій при викладанні базового курсу вищої математики студентам інженерних спеціальностей. Розглядаються деякі напрями використання інформаційних та комунікаційних технологій з залученням мережевих засобів та пакетів доступних прикладних програм для більш якісного та ефективного засвоєння студентами технічних спеціальностей базового курсу вищої математики як невід'ємної частини сучасної інженерно-технічної освіти.*

Ключові слова: *інформаційні технології, вища математика, методи викладання.*

Основний курс вищої математики в технічному вузі являється фундаментом математичної підготовки майбутнього спеціаліста, яка здійснюється з метою розвинути логічне і алгоритмічне мислення студента, озброїти його методами дослідження, аналізу та моделювання пристроїв, явищ і процесів, а також методами обробки та аналізу результатів практичних і чисельних експериментів. Сьогодні неможливо задовольнити все більше й більше зростаючим вимогам до рівня підготовки випускника вузу до самостійної професійної діяльності без використання комп'ютерних технологій при викладанні більшості вузівських дисциплін, насамперед дисциплін фундаментального характеру. Очевидно, що використання інформаційних технологій в навчанні та освіті студентів не повинно мати епізодичний характер, але бути систематичним з перших днів навчання студента в вузі.

Необхідність розробки нових підходів до навчання диктується незадоволеністю суспільства його якістю. Зміна умов життя суспільства неминує викликає вдосконалення освітніх концепцій. Сучасний етап

розвитку освіти характеризується якісними змінами його змісту, структури, впровадженням в освітній процес нових педагогічних технологій. При цьому важлива роль в реформуванні освіти відводиться розвиненому процесу інформатизації, який дозволяє широко використовувати інформаційні технології.

Найвідомішими з традиційних методів навчання являються проведення лекційних, практичних і лабораторних занять. Водночас, сучасне уявлення про якісну освіту включає як необхідний елемент вільне володіння інформаційними технологіями. Застосування інформаційних технологій допомагає підвищити рівень викладання, забезпечує контроль, наочність, несе більший об'єм інформації, являється стимулом в навчанні. Використання інформаційних технологій в вивченні вищої математики сприяє підвищенню рівня викладання курсу, дозволяє забезпечити оперативний моніторинг і контроль за успішністю студентів, надає доступ до баз даних математичних знань, а також багато іншого.

Застосування інформаційних технологій сприяє розвитку нових педагогічних методів та прийомів, пом'якшує перехід від традиційних до інтерактивних способів навчання, а також веде до розширення диверсифікації математичних задач, що розв'язуються. Спеціалісти в галузі інформаційних технологій стверджують, що запровадження нових комп'ютерних технологій в освітній процес дозволяє підвищити ефективність вивчення спеціалізованих дисциплін, в середньому на 30 %.

Основними інструментами викладання вищої математики із залученням інформаційних технологій являються мультимедійні презентації, що містять текст навчального матеріалу, формули, графіки, діаграми, анімація, відео та звукові ефекти, програми-тренажери. Дані складові інформаційних технологій дозволяють раціонально організовувати процес учбового заняття, підвищити наочність та насиченість лекційного матеріалу, активізувати навчально-пізнавальну діяльність студентів. Окрім того, сам процес навчання стає інтерактивним, творчим і орієнтованим на студента.

Цінністю мультимедійних презентацій, а також програм-тренажерів, контролюючих та навчальних комп'ютерних програм, являється ефективна демонстрація креслень, схем, рисунків, оптимізація і економія навчального часу, а також краще запам'ятовування і засвоєння студентами учбово-практичного матеріалу.

З іншого боку, необхідними умовами підвищення якості математичної підготовки студентів технічних спеціальностей являються інтенсифікація, професійна орієнтованість аудиторних занять та належна організація індивідуальної і самостійної роботи студентів.

При формуванні творчої активності майбутніх інженерів ефективним засобом являється дослідження і розв'язання професійно орієн-

тованих задач, в яких реалізуються інтегративні зв'язки математичних та спеціальних знань. Комплекс професійно орієнтованих задач необхідно поступово вводити в навчальний курс вищої математики по мірі проходження тем курсу вищої математики і вивчення студентами спеціальних дисциплін їх майбутнього профілю. На наш погляд, саме під час аудиторних занять закладається той фундамент, на якому в подальшому формуються вміння та навички самостійної роботи, розвиваються творчі задатки студентів. І знову ж таки, вдале поєднання традиційних методів навчання з сучасними можливостями інформаційних технологій дозволяє реалізовувати згадані задачі найбільш оптимальним та ефективним способом.

Нестача навчального часу на аудиторних заняттях актуалізує проблему найбільш раціонального його використання, а, значить, висуває ряд підвищених вимог до змісту навчальних задач, їх компоновки, професійної спрямованості. Природно, при опрацюванні викладеного матеріалу, у студентів виникає потреба в комунікації з викладачем чи іншими студентами в позаурочний час. Сучасні інформаційні технології легко вирішують цю проблему.

Для вищої математики з її канонічною структурою та змістом шлях систематичного використання інформаційних технологій представляється єдино правильним. Внаслідок цього постає питання про форми комп'ютерної підтримки, розробку власних програмних засобів, що, як відомо, потребує значних матеріальних та часових ресурсів і, як правило, приводить до появи великої кількості різноманітних по стилю, не пов'язаних одна з одною навчальних програм для розв'язання окремих вузьких питань тої чи іншої теми. Спільним недоліком більшості таких програм являється використання лише найпростіших можливостей комп'ютера та вузькі рамки реалізованих алгоритмів, які не дозволяють студенту творчо розв'язувати задачі, а тому недостатньо реалізують і розвивають його інтелектуальний потенціал.

Принципово інший підхід полягає в наступному – створювати навчальні середовища на базі відомих математичних пакетів, що дозволяє зосередити зусилля на методичному змісті відповідної предметної області. Окрім цієї головної переваги варто відмітити і той факт, що при такому підході не передбачається особливих вимог до попередньої комп'ютерної підготовки як студента, так і викладача. Наприклад, на сьогодні аналогічна робота виконується в середовищах пакетів Mathematica, MathCad, MathLab, SciLab, Maple. Існують і інші математичні пакети.

За допомогою даних пакетів можна проводити та документувати різноманітні обчислення, як чисельні, так і аналітичні або символні (дії з алгебраїчними виразами, розв'язання рівнянь, диференцію-

вання, інтегрування та ін.), створювати візуалізацію аналітичної інформації (будувати графіки функцій однієї чи двох змінних, створювати зображення кривих та поверхонь за їх параметричними або неявними рівняннями, зображати контурні графіки поверхонь тощо), обробляти графічні результати експериментів, будувати діаграми та гістограми, створювати якісну анімацію графічних образів, будувати бази даних і бази знань. В силу відкритості комп'ютерних систем багатьох пакетів користувач може вводити в користування нові функції, конструюючи їх на базі наявних функцій системи.

Системи інтерактивні і кожна з них оснащена зручним для користувача інтерфейсом. Вони орієнтовані на користувача, який не є професіоналом в області програмування, а має тільки початкову підготовку з основ інформатики та інформаційних технологій. Вищезгадані комп'ютерні системи задовольняють всім технічним, ергономічним і естетичним вимогам, що накладаються на програмні засоби педагогічного призначення, та мають підстави для того, щоб при належній підготовці задовольнялись навчальні потреби.

Як бачимо, впровадження інформаційних технологій в освітній процес надає переваги не тільки для студентів, але і для викладачів як фундаментальних, так і спеціалізованих дисциплін. Завдяки розвитку інформаційних технологій викладач може реалізовувати найновіші педагогічні ідеї, ділитися ними з колегами, та отримувати на них відповідні рецензії та відгуки. Окрім того, доступнішим стає вибір освітньої траєкторії, дослідницьким тем, систем тренувальних завдань і задач, методів контролю засвоєння матеріалу та багато іншого.

Список використаних джерел

1. Триус Ю. В. Комп'ютерно-орієнтовані методичні системи навчання математики. Черкаси : Брама-Україна, 2005. 400 с.
2. Ройко Л. Л., Ройко О. О. Застосування інформаційно-комунікаційних технологій при викладанні вищої математики для студентів нематематичних спеціальностей. *Освіта*. Луцьк : Математика. Інформаційні технології. № 6. 2019. С. 89–94.
3. Кіяновська Н. М., Рашевська Н. В., Харджян Н. А. Аналіз методів навчання із використанням інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні вищої математики студентами технічних закладів вищої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кропивницький. Вип. 194. 2021. С. 129–134.
4. Сидоренко О. О. *Mathematica: Теорія та практика*. Київ : Наукова думка, 2020. 400 с.

5. Бабій М. Ю. MATLAB для студентів технічних спеціальностей. Львів : Вид-во ЛНУ ім. Івана Франка, 2021. 220 с.

6. Гуревич Р. С. Інформаційно-комунікаційні технології в навчальному процесі: посібник для педагогічних працівників і студентів педагогічних вищих навчальних закладів. Вінниця, 2002. 116 с.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ» В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТИ

Деркач Т. М.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
E-mail: vukladach.tnd@gmail.com

***Анотація.** У статті розглянуто технічні та технологічні аспекти використання цифрових технологій у контексті викладання дисципліни «Методи та засоби обробки інформації». Проаналізовано роль сучасних апаратних засобів, хмарних платформ, цифрових освітніх сервісів, віртуальних лабораторій та прикладного програмного забезпечення у формуванні професійних компетентностей студентів IT-спеціальностей. Наведено приклади спеціалізованих програмних засобів, що використовуються у навчанні, і визначено їх освітні переваги. Сформульовано ключові висновки щодо значення цифрових технологій у розвитку професійних навичок майбутніх фахівців інформаційних технологій.*

***Ключові слова:** інформаційні технології, цифрова трансформація, технічна інфраструктура, хмарні обчислення, віртуальні лабораторії, обробка даних.*

Сучасне суспільство перебуває на етапі активної цифрової трансформації, що супроводжується стрімким зростанням обсягів інформації, появою нових засобів її обробки та підвищенням значущості інформаційних ресурсів у всіх секторах діяльності. За таких умов особливого значення набуває підготовка фахівців у галузі інформаційних технологій, які володіють інструментами роботи з даними, здатні застосовувати сучасні алгоритми та ефективно використовувати програмно-апаратні засоби.

Однією з базових навчальних дисциплін, що забезпечує формування таких компетентностей, є курс «Методи та засоби обробки інформації». Він формує фундаментальні теоретичні знання та практичні навички, необхідні для подальшого опанування спеціалізованих напрямів, зокрема баз даних, системного аналізу, штучного інтелекту, машинного навчання та інформаційної безпеки. Метою цієї статті є аналі-

тичний огляд технічних і технологічних передумов, що визначають сучасний рівень викладання дисципліни та сприяють підвищенню якості підготовки ІТ-фахівців.

На сьогодні використання цифрових технологій в освітньому процесі представлено такими ключовими складовими – технічна та технологічна.

Технічна інфраструктура становить основу якісної організації освітнього процесу в галузі інформаційних технологій. Вона включає апаратні засоби, що забезпечують обробку складних інформаційних структур і великих масивів даних. Серед ключових технічних компонент слід відмітити: високопродуктивні комп'ютерні системи, графічні процесори (GPU) локальні та віддалені сервери, мережеві лабораторії та віртуальні середовища. Завдяки цим засобам студенти отримують можливість працювати з реалістичними обчислювальними моделями, тренувати навички паралельних обчислень та реалізовувати алгоритми аналізу даних у професійних умовах.

Технологічна складова охоплює впровадження сучасних цифрових платформ і сервісів, що формують нову інфраструктуру навчального процесу.

В першу чергу слід відмітити використання навчальних платформ типу Moodle, Google Classroom, Canvas, які дають змогу викладачеві організовувати освітній процес у змішаному або дистанційному форматі. Вони забезпечують зручний доступ до матеріалів, систематичний контроль знань та можливість взаємодії у віртуальному середовищі. Завдяки цифровим освітнім платформам інтерактивні лекції, мультимедійні матеріали, онлайн-симулятори дозволяють підвищити мотивацію студентів та забезпечують глибше засвоєння матеріалу.

Останнім часом у контексті цифровізації освіти хмарні технології вважаються невід'ємною складовою сучасного освітнього середовища. Особливе місце займають хмарні технології, що забезпечують гнучкий доступ до ресурсів та підтримують масштабованість освітнього процесу. Зокрема, екосистема Microsoft 365 пропонує інструменти для колективної роботи, спільного редагування документів, проведення онлайн-нарад та організації навчальних активностей.

Під час вивчення дисципліни «Методи та засоби обробки інформації» ефективним є також використання хмарних обчислювальних платформ (AWS Educate, Microsoft Azure for Students, Google Cloud Platform), що дозволяють виконувати завдання з обробки даних у реальному середовищі. Це сприяє розвитку практичних навичок роботи з великими масивами інформації, паралельними обчисленнями та алгоритмами машинного навчання.

Важливим елементом технологічної інфраструктури виступають віртуальні лабораторії, які надають можливість для проведення експериментів з аналізу та обробки інформації без необхідності використання дорогого обладнання. Такі інструменти дозволяють студентам отримати досвід роботи у максимально наближених до реальних умов.

Дисципліна «Методи та засоби обробки інформації» створює можливості для інтеграції прикладного програмного забезпечення, такого як Microsoft Excel, Python та R, яке надає змогу формувати ключові аналітичні компетентності студентів. Кожне ПЗ має відповідні освітні переваги та напрями практичного використання (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика основних програмних засобів

ПЗ	Освітня перевага	Приклад завдання
Excel	Візуально орієнтоване середовище, придатне для статистичного аналізу, побудови графіків та моделювання	Аналіз даних, побудова діаграм, обробка табличних масивів
Python	Потужна мова програмування з бібліотеками (NumPy, Pandas, Matplotlib), що дозволяє обробляти великі обсяги даних	Написання скриптів обробки, побудова алгоритмів сортування, візуалізація
R	Мова для статистичного аналізу з широкими можливостями візуалізації результатів (ggplot2, dplyr)	Регресійний аналіз, статистичні моделі, дослідження залежностей

У сучасному інформаційному середовищі особливої уваги заслуговує і візуалізація даних, яка відіграє важливу роль у формуванні аналітичного мислення та інтерпретації результатів дослідження. Інтеграція Tableau та Power BI у навчальний процес дозволяє студентам опанувати навички створення інтерактивних графіків, дашбордів та аналітичних моделей.

Проведений аналіз засвідчує, що технічні та технологічні компоненти цифрової трансформації суттєво впливають на якість підготовки майбутніх ІТ-фахівців. Технічна складова забезпечує можливість роботи з великими обсягами даних, математичного моделювання та реалізації складних алгоритмів. Технологічна складова сприяє інтерактивності освітнього процесу, формує навички командної взаємодії, критичного та алгоритмічного мислення. Використання високопродуктивних апаратних засобів, хмарних платформ, віртуальних лабораторій та спеціалізованого програмного забезпечення створює оптимальні умови для формування професійних компетентностей майбутніх фахівців, зокрема:

- уміння працювати з великими обсягами даних;
- навички використання хмарних сервісів;
- здатність застосовувати аналітичні та алгоритмічні підходи;
- готовність інтегрувати цифрові інновації у професійну діяльність.

Таким чином, цифрові технології виступають ключовим чинником модернізації ІТ-освіти та підготовки конкурентоспроможних спеціалістів у галузі інформаційних технологій.

Список використаних джерел

1. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти. Київ : Педагогічна думка, 2021. 386 с.
2. Bond M., Bedenlier S., Marín V. I., Händel M. Emergency remote teaching in higher education: Mapping the first global online semester. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2021. Vol. 18 (1). P. 50.
3. Кухаренко В. М. Системи управління навчанням: сучасний стан і перспективи розвитку. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2020. Т. 75, № 1. С. 1–15.
4. Radianti J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education. *Computers & Education*. 2020. Vol. 147. P. 103778.
5. Zawacki-Richter O., Marín V. I., Bond M., Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2019. Vol. 16 (1). P. 39.
6. Шишкіна М. П., Каленюк С. В. Цифровізація освіти: виклики та перспективи. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2022. Т. 89, № 3. С. 24–39.

АКТУАЛЬНІ ВИКЛИКИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ В ОСВІТНЬОМУ НАПРЯМІ «ПРОГРАМНА ІНЖЕНЕРІЯ»

Козубай М. Б.

Хмельницький національний університет

E-mail: kozubaima@khnpu.edu.ua

Анотація. Проаналізовано сучасні тенденції підготовки фахівців з програмної інженерії в умовах цифрової трансформації. Визначено ключові виклики: розрив між компетентностями випускників та вимогами ринку

праці, недостатня практична складова, потреба в оновленні освітніх стандартів. Запропоновано концептуальну модель модернізації освітніх програм на основі принципів result-based education та university-industry partnership.

Ключові слова: *програмна інженерія, IT-освіта, компетентнісний підхід, university-industry partnership, result-based education.*

Актуальність дослідження. Розвиток освітнього напрямку «Програмна інженерія» відбувається в умовах прискореної цифрової трансформації та зміни вимог глобального ринку праці [1]. Традиційні освітні моделі не встигають за темпами оновлення технологій, що призводить до розриву між компетентностями випускників та потребами IT-індустрії [2]. Проблема синхронізації освітніх програм з вимогами Industry 4.0 є критичною для забезпечення конкурентоспроможності випускників.

Мета дослідження – систематизувати міжнародні тенденції підготовки програмних інженерів та розробити концептуальну модель модернізації освітніх програм.

Об’єкт дослідження – освітній процес підготовки бакалаврів з програмної інженерії.

Предмет дослідження – методологічні підходи до модернізації змісту та організації освітнього процесу.

Матеріали та методи. Для досягнення мети використано такі методи:

1. Систематичний огляд літератури (Scopus, Web of Science, 2020–2025 pp.) за ключовими словами «software engineering education», «engineering competencies», «STEM education». Проаналізовано 47 джерел.
2. Бібліометричний аналіз для виявлення трендів у дослідженнях.
3. Метод теоретичного моделювання для розробки концептуальної моделі.
4. Аналіз і узагальнення педагогічного досвіду українських ЗВО [3, 4].

Результати дослідження

1. Виявлено три домінуючі тенденції в міжнародній практиці.
 1. Трансформація компетентностей: зсув акценту від технічних навичок (programming, testing) до комплексних умінь (critical thinking, teamwork, AI-prompting). Дослідження [2] підтверджують, що 78 % роботодавців оцінюють soft skills вище за hard skills для junior-спеціалістів.
 2. Цифровізація освіти: інтеграція LMS, AI-асистентів, платформ автоматичного рев'ю коду (GitHub Copilot, SonarCloud) у навчальний процес. Експериментальні дані [5] демонструють підвищення якості коду студентів на 23–28 % при використанні таких інструментів.

3. Практико-орієнтованість: впровадження capstone-проектів, індустріальних стажувань, хакатонів. Звіти IEEE/ACM [6] показують, що програми з $> 30\%$ практичної складової мають на 40% вищу працевлаштованість випускників.

2. Розроблено концептуальну модель модернізації (рис. 1), що включає:

- стратегічний рівень: оновлення стандартів на основі компетентнісних моделей SFIA, ACM/IEEE;
- технологічний рівень: впровадження цифрових інструментів та AI-технологій;
- партнерський рівень: створення центрів спільної підготовки з IT-компаніями.

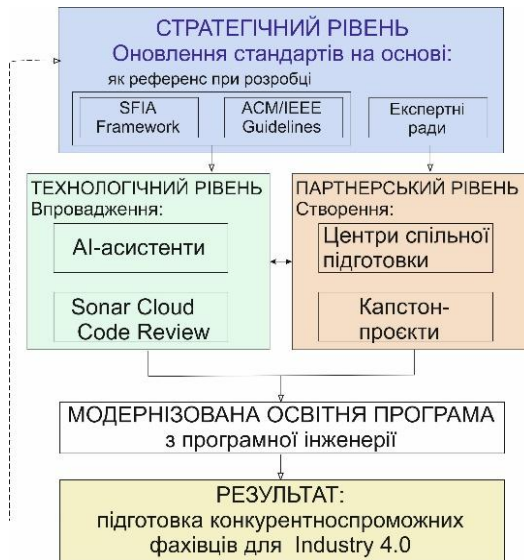


Рис. 1. Концептуальна модель модернізації освітніх програм на основі принципів result-based education та university-industry partnership

Висновки

1. Консолідована тенденція – перехід до гнучких результатно-орієнтованих моделей підготовки програмних інженерів з домінуванням міждисциплінарних компетентностей.

2. Критичним фактором є створення сталих механізмів зворотного зв'язку між університетами та IT-індустрією через центри спільної підготовки.

3. Запропонована трирівнева модель – оновлення змісту освіти; впровадження цифрових інструментів; формування індустріальних партнерств – забезпечує системну адаптацію освітніх програм до вимог ринку праці.

4. Подальші дослідження мають зосереджуватися на вимірюванні довгострокового впливу моделі на працевлаштування випускників.

Список використаних джерел

1. Hsu Y.-P., Chiang D.F., Kehinde I. Transforming engineering education in the digital era: Findings from a systematic review // *Frontiers in Education*. – 2025. – Vol. 10. – Article 1568917. – DOI: 10.3389/feduc./2025.1568917.

2. Assyne N., Ghanbari H., Pulkkinen M. The state of research on software engineering competencies: A systematic mapping study // *Journal of Systems and Software*. – 2022. – Vol. 185. – Article 111183. – DOI: 10.1016/j.jss.2021.111183.

3. Striuk A.M., Semerikov S.O. Professional competencies of future software engineers in the software design: teaching techniques // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1840. – Article 012036. – DOI: 10.1088/1742-6596/1840/1/012036.

4. Luzik E., Akmalidina O., Tereminko L. Developing software engineering students' readiness for professional mobility through blended learning // *Advanced Education*. – 2023. – Vol. 10, № 20. – P. 57–65. – DOI: 10.20535/2410-8286.185230.

5. Nocera S., Romano S., Francese R., Scanniello G. Software engineering education: Results from a training intervention based on Sonar Cloud when developing web apps // *Journal of Systems and Software*. – 2025. – Vol. 222. – Article 112308. – DOI: 10.1016/j.jss.2024.112308.

6. ACM/IEEE Joint Task Force on Computing Curricula. Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering // ACM. – 2024. – 234 p. – DOI: 10.1145/1234567.

CRITERIA FOR CLASSIFYING LEGAL TEXTS

Kharzhevska O. M.

Khmelnytskyi National University, e-mail: kharzhevska @gmail.com

Abstract. *The significant difference between different legal texts in their functions, structure and linguistic properties, which are discussed in the article,*

proves the fact that legal discourse is not monolithic. To understand the criteria for classifying legal texts, it is necessary to know the specific features of legal texts. The article highlights the classifications of legal texts by genre. Classifications are based either on textual or textual factors, such as branches of law, functions of the text, situations of use, subgroups of lawyers, or formalities of style and form of the material. Some classifications include only written legal texts, while other typologies include both written and oral legal texts. It is necessary to investigate the lexical and grammatical features of legal texts, since this sheds light not only on the general features of legal discourse, but also on the nature of law itself.

Keywords: *classification, legal discourse, legal genres, legal texts.*

Being a complex type of discourse, legal discourse is implemented through legal texts written in legal language, which are considered specialpurpose texts that differ from other types of texts by their internal and external properties. The great variety of legal texts reflects the diversity of law itself. As different legal texts have different functional, structural, and linguistic features, they are classified by genre based on various criteria. The consideration of legal text genres contributes to the general understanding and construction of legal discourse in general, and legal texts in particular. This article aims to review and describe the genres of legal texts, with an emphasis on the specific features of legal texts and the criteria for classifying legal texts by genre. Although different genres of legal texts have been the subject of discussion in many academic works, no comprehensive classification of legal texts by genre has been proposed. This can be explained by the multi-vector nature of law, which makes specifying a typology of legal texts a difficult task. Some attempt to classify legal texts into genres according to their function or situation of use, while other classifications are based on branches of law or groups of lawyers. An overview of these classification criteria is provided below. Speaking about the genres of legal texts, Filho and others [1] argue that texts belonging to a given genre must have at least the following properties:

- common communicative function;
- a similar macrostructure, i.e. format or organizational plan;
- similar discursive mode of development of macrostructure and similar discourse techniques;
- common lexical-syntactic arrangement of material and a common set of functional units and formal features;
- common socio-pragmatic conventions.

Due to the diverse activities of lawyers (e.g., judges, lawyers, advocates), one can expect a variety of genres of legal texts. Even though Mouritsen [2] offers a detailed analysis of different genres, such as university theses and

diplomas, certificates, statutes, legal reports, decisions, contracts, deeds, insurance policies, wills, powers of attorney, and professional articles, their classification of legal texts by genre seems somewhat unclear. There is a tendency to point out three classes of genres of legal texts. The first group includes legal texts in the fields of statutory law, public law, and court decisions; the second group consists of private law legal texts that establish legal measures of private individuals (e.g., contracts, deeds, wills, etc.); while academic works on the law (e.g., textbooks, professional articles) fall into the third group. The author notes that the genres of legal texts belonging to the second and third groups are "more flexible and more open in their subject matter, although they still have distinctive macrostructural features that make them instantly identifiable as legal genres"[2, p. 69]. On these grounds, it can be noted that Mouritsen's classification of legal texts into genres is mainly based on the legal domain, i.e. the field of law.

The same basis for classifying legal texts into genres, i.e. the fields of law, is proposed by Duběda. He explains that, by classifying legal texts into genres according to the fields of law, the main distinguishing criterion then becomes the specialized terminology of each field [3]. Thus, this type of legal text typology would be based on the internal features of the text. The scholar notes that a significant part of the legal terminology of different branches of law is universal, although, for example, criminal law uses terms that are never used in property law. In addition, in other branches of law (for example, tax, land law), legal terminology is sometimes mixed with non-legal technical vocabulary. A typology of legal texts based on branches of law is one of the possible solutions for classifying legal texts by genre, but taking terminology as the main criterion for differentiation seems insufficient, as it can lead to great confusion.

Both oral and written legal texts are taken into account in the classification proposed by Ginsburg and Stephanopoulos [4, p. 150]. However, the main criterion in his typology of legal texts is the discourse situation (it corresponds to Zeifert's "situation of use", which will be described below). According to the situation in which legal texts are used, Maile distinguishes the following groups:

1. Sources of law and sources of legal process (legislative, regulatory, by-laws, precedents, wills, contracts, etc.) – written texts.
2. Pre-trial processes (police interview, video, petition, consultation, jury summons) – oral and written texts.
3. Trial processes (court examination, cross-examination, intervention, rules and procedures, jury summaries, decisions) – oral texts
4. Recording court decisions in legal reports – written texts.

It is obvious that the last three categories cover legal texts relating to legal proceedings, while the first group includes all other legal texts. A somewhat similar division into groups based on external factors relating to the situation of use is considered by Zeifert [5, p. 415]. However, Trosborg does not speak specifically about legal texts, but applies the classification to legal discourse in general. Bearing in mind that discourses are realized through texts, this division of legal language into groups is quite suitable for classifying legal texts by genre, both written and spoken.

Similarly, Glodar [6] chooses the situation of use as the main criterion for classifying legal texts. However, he excludes genres of colloquial legal discourse and distinguishes four main groups of legal texts:

1) legislative texts (domestic statutes and bylaws, international treaties and multilingual laws, other laws produced by legislative bodies;

2) judicial texts written during legal proceedings by judicial officers and other legal bodies;

3) legal scientific texts written by academic lawyers or jurists in scientific works and commentaries, the legal status of which depends on the legal systems of different jurisdictions;

4) private legal texts, which include texts written by a notary, such as contracts, leases, wills and court documents, private agreements, witness statements, as well as other documents written by non-lawyers.

Another basis for the classification of legal texts is proposed by Solan and Gales. They introduce a two-way system of classifying legal texts by genre [7, p. 1311]. His classification is based on two main functions of language: regulatory (prescriptive) and informative (descriptive). Accordingly, the researcher divides legal texts into genres according to their function (i.e., external properties of the text):

1) predominantly prescriptive;

2) predominantly descriptive, but also prescriptive;

3) purely descriptive.

Predominantly prescriptive are “normative texts that prescribe a certain course of action that a person must confirm”. Such texts have a normative nature and, as a rule, they contain rules and norms of behavior, commands, prohibitions or permissions. Laws and regulations, codes, contracts, agreements and conventions are attributed to this group of genres of legal texts. As was explained, these genres of legal texts are considered as “documentary sources of law, that is, primary sources from which the Law of a particular system derives its authority and coercive force [7, p. 1126]”.

The second group of genres includes hybrid legal texts, which are predominantly descriptive but also contain prescriptive parts. Judgments, actions, motions, reports, appeals, requests, etc. fall into this category. Finally,

the third group includes legal texts that “constitute what is known as legal doctrine, the authority of which varies in different legal systems”. In other words, legal texts belonging to this group are not considered legal instruments, they are written by legal scholars and are purely descriptive in nature. Examples of such legal texts include legal essays, textbooks, articles, etc.

In addition to the classification based on the branches of law, the function of the text and the situation of use, there are other criteria used in the classification of legal texts by genre. Zeifert [5] proposes another classification of genres of legal texts, taking into account their formality of style and the form of information (written or oral). Regarding the formality of legal texts, he distinguishes between frozen, official, advisory, unplanned and personal types of texts and provides the following typology of legal texts, based on the register and the medium of information (written and spoken: composed and spontaneous, used in different legal texts:

1. Frozen written: insurance policies, contracts, leases, wills.
2. Frozen spoken: marriage ceremonies, indictments, oaths of witnesses, verdicts.
3. Formal written: statutes, letters, appellate opinions.
4. Formal spoken: examination of witnesses by lawyers during trials, lawyers' motions.
5. Advisory speech: witness testimony.
6. Advisory spoken-spontaneous: lawyer-client interaction,
7. Stand-up conferences.
8. Spontaneous conversations: lobby conferences, lawyers' conversations.

It is clear that Ginsburg's [4] classification is broader than the typologies discussed above, since it includes not only written but also spoken genres of legal texts. However, at first glance, such a detailed way of classifying legal texts by genre seems somewhat confusing. It would probably not be difficult to classify legal texts into the categories of written or oral texts, but then the question may arise of how to distinguish, for example, frozen legal texts from official ones? It is also unclear to which category legal scientific texts belong. He proposes a fifth criterion that can be applied to the classification of legal texts, although he specifically speaks of the application of this criterion to the division of legal language. In his opinion, legal discourse can be classified into different subgroups of lawyers.

In conclusion, there is an explanation that each subgroup of lawyers uses a legal language that has certain characteristics, such as vocabulary and style. In this way, we can speak of discourse and legal texts developed and used by legal writers, legislators, judges, notaries, and lawyers.

References

1. Barros Filho, Geraldo C.; Carreiro, Larissa S. G.; Farias, Athena de A. (2017). Reflections on Legal Language. Am. In. Mult. J., Oct. 2 (3), 17–25.
2. Mouritsen, Stephen. (2017) Corpus Linguistics in Legal Interpretation: An Evolving Interpretative Framework. International Journal of Language & Law JLL 6: 67–89. URL: <https://doi.org/10.14762/JLL.2017.067>.
3. Duběda, Tomáš. (2021) Direction-Asymmetric Equivalence in Legal Translation. Comparative Legilinguistics 47/2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/cl-2021-0012>.
4. Ginsburg, Tom, and Nicholas Stephanopoulos. (2017) The Concepts of Law. University of Chicago Law Review 84: 147–175.
5. Zeifert, Mateusz. (2022) Rethinking Hart: From Open Texture to Prototype Theory – Analytic Philosophy Meets Cognitive Linguistics. International Journal for the Semiotics of Law – Revue internationale de Sémiotique juridique 35: 409–430. <https://doi.org/10.1007/s11196-020-09722-9>.
6. Ondřej Glogar. (2023) The Concept of Legal Language: What Makes Legal Language ‘Legal’? International Journal for the Semiotics of Law – Revue internationale de Sémiotique juridique 36 (3) : 1–27 DOI:10.1007/s11196-023-10010
7. Solan, Lawrence M., and Tammy Gales. (2018) Corpus Linguistics as a Tool in Legal Interpretation. BYU Law Review 2017: 1311–1358.

ІНТЕГРАТИВНИЙ АСПЕКТ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗНАНЬ В СИСТЕМІ ВОКАЛЬНО-ХОРОВОЇ ПІДГОТОВКИ ВЧИТЕЛЯ МУЗИЧНОГО МИСТЕЦТВА

Халєєва О. В., Костіна Л. М., Поддуда І. А.

КЗ «Харківська гуманітарно-педагогічна академія ХОР», м. Харків
E-mail: Kostinaluda1949@gmail.com

Анотація. У статті розглянуто інтегративний підхід у вокально-хоровій підготовці майбутніх учителів музичного мистецтва. Показано значення внутрішньовидової та міжвидової художньої взаємодії у формуванні професійних навичок студентів. Виокремлено два рівні інтеграції: поєднання теоретичної, методичної та практичної підготовки та міждисциплінарна взаємодія навчальних дисциплін. Доведено, що міжпредметні зв'язки сприяють систематизації знань, розвитку узагальнених умінь і підвищенню пізнавального потенціалу студентів. Зроблено висновок про

поліфункціональну педагогічну природу інтеграції як умову оптимізації професійної діяльності майбутніх учителів музики.

Ключові слова: *інтегративний підхід; вокально-хорова підготовка; міжшкільна взаємодія; міждисциплінарна інтеграція; професійна діяльність*

Постановка проблеми. Реформування системи вищої педагогічної освіти визначається впровадженням концептуальних ідей, що наголошують на ролі культури і мистецтва як духовних джерел і способів розвитку цілісної особистості, її світосприймання, світобачення і світорозуміння. Реалізація цих складних процесів вимагає переходу професійної освіти з предметної до проблемної форми організації навчання, впровадження комплексних програм, які розроблені на стику наук і мистецтв. Це сприяє формуванню у молоді інтегрального мислення, здатності до вільної орієнтації, самовизначення у соціокультурній ситуації, створення випереджаючих моделей життєдіяльності.

Незважаючи на розробленість питань інтеграції знань у професійній підготовці фахівців різного профілю, ще існують проблеми застосування інтегративного підходу в окремих видах фахової підготовки майбутніх учителів. Так, потребує окремого дослідження процес формування готовності майбутнього вчителя музичного мистецтва до вокально-хорової діяльності на основі інтегративного підходу, а саме формування в студентів мобільної системи фахових знань і вмінь, яка б поєднувала знання широкого кола різножанрового вокально-хорового репертуару з концертмейстерськими й ілюстраторськими навичками, необхідними для роботи з шкільними хоровими колективами. Наявність такої проблеми і визначила актуальність даної статті.

Аналіз публікацій. Інтеграційні процеси в освіті знайшли відображення у наукових працях вітчизняних дослідників (Н. Буринська, Л. Васіна, С. Гончаренко, І. Козловська, К. Колесіна, Ю. Мальований, О. Марущак, Е. Носенко, Г. Падалка, В. Разумовський, О. Сергєєв, М. Сова, О. Соколова, В. Фоменко, О. Холоденко та ін.). Оновлення змісту професійного навчання на принципах інтегративного підходу розкривається у працях І. Яковлева, Є. Яворського, М. Костюкова. Нові технології навчання в інтегративній системі розглядають М. Кадемія, Н. Талалуєва, В. Волгов та ін.

Мета статті. Спираючись на науково-методичний і практичний досвід, впровадивши інтеграційні процеси у систему вищої освіти, обґрунтувати теоретичні основи застосування інтегративного підходу у системі вокально-хорової підготовки майбутнього вчителя музичного мистецтва.

Виклад основного матеріалу. Розвиток інтегративних тенденцій як суттєвої ознаки сучасного наукового та прикладного знання на-

буває особливого значення за умов інформаційного перевантаження сучасного навчально-пізнавального процесу. Інтеграція знань у професійній підготовці майбутнього вчителя музики є динамічним, безперервним та суперечливим процесом, який потребує прогностичного підходу, врахування особливостей параметрів знань, виявлення специфіки структурування предметних та інтегрованих знань, передбачає застосування адекватних змістів і форм, методів і засобів навчання. Інтеграція знань – це процес формування змісту освіти на основі проблемного підходу, який спрямовано на розвиток професійних і особистісних якостей майбутнього вчителя.

Досліджуючи процес інтеграції професійних знань, важливо знати, заради якої майбутньої діяльності зорганізується процес формування і засвоєння нових знань. У педагогії вся теорія навчання спрямована на акт передавання знань від учителя учням. Процес формування знання (особливо інтегративного) залежить також від особистісної активності суб'єктів навчання. Знання можна передавати лише тоді, коли учень їх «бере», тобто виконує якісь дії з ними [4, с. 58]. Метою діяльності майбутніх учителів музичного мистецтва і художньої культури є передача вихованцям накопиченого людського досвіду, сконцентрованого у творах мистецтва, відтворення художніх і моральних цінностей людства, що містяться у світовій художній культурі. В єдиному руслі загального процесу художньо-естетичного навчання й виховання учнів вирішуються проблеми просвіти й індивідуального творчого розвитку особистості.

Процес підготовки майбутніх учителів музичного мистецтва і художньої культури практично поєднує два основні підходи до вивчення мистецьких дисциплін: предметний та інтегративний. Предметний зміст навчання є необхідним для глибокого розуміння специфічних ознак окремого виду мистецтва. При цьому відбувається накопичення знань про засоби виразності й особливості художньої мови в одному з видів творчості. Комплексне і синтетичне вивчення мистецтв на основі інтеграції розкриває процеси взаємопроникнення засобів виразності, їх трансформації в єдине ціле, створює умови для активізації уяви, асоціативного мислення, збагачення чуттєвої сфери особистості [3]. Викладене дає змогу розглядати поняття інтеграції не як статичне, а як розвивальне та протезувати виникнення нових форм і аспектів цього феномена.

Досліджуючи процес формування в студентів мобільної системи фахових знань і вмінь, необхідних для роботи з шкільними хоровими колективами, необхідно теоретично обґрунтувати процес інтеграції специфічних прийомів (концертмейстерських, ілюстраторських) у систему музично-теоретичних, музично-історичних та загально-мистецьких

знань, необхідних для створення різноманітних вокально-хорових композицій.

Початковою формою інтеграції, як і будь-якої цілісної системи, є взаємодія. У науковій літературі цей процес тлумачиться як дія об'єктів один на одного та їх взаємна зумовленість, універсальна форма зміни станів об'єктів або їх взаємоперехід, виникнення нового об'єкту в результаті перетворення іншого. Взаємодія є видом безпосереднього та опосередкованого, зовнішнього та внутрішнього, істотного та неістотного, функціонального відношення чи зв'язку. Вона визначає існування і структурну організацію матеріальної системи, її властивості, об'єднання з іншими об'єктами в систему вищого порядку. Взаємодія, є основою всезагального зв'язку і взаємозумовленості явищ та об'єктів, причиною руху й розвитку. Її виявом виступають: причинні відношення, залежність системи від її попереднього стану, від впливу оточення, зв'язок між властивостями об'єкта, зворотний зв'язок у всіх саморегулюючих системах [2],

Існують численні форми художньої взаємодії. Серед них – генетичні, змістові, формальні, морфологічні, структурні, функціональні, динамічні, статичні тощо. Необхідність виявлення структурної специфіки художніх взаємодій, встановлення внутрішніх і зовнішніх зв'язків між елементами мистецьких систем, завдяки яким виникають якісно нові інтегральні утворення, зумовлюють потребу класифікації форм взаємодії у художніх системах. Їх розподіляють на внутрішньо- та міжвидові.

До внутрішньовидових форм художніх взаємодій належать такі, в яких взаємодія між художніми об'єктами відбувається всередині певного виду мистецтва (між традиціями, стилями, жанрами, формами, елементами мови темами, образами).

У міжвидовій формі художня взаємодія здійснюється між окремими видами мистецтва. Наприклад, відбувається збіг особливостей художнього мислення поета і живописця, романіста і музиканта, стають подібними їх світогляд, основні принципи естетичного ставлення до світу або культурні орієнтації. На цій основі виникає стилістична близькість І. Франка і Я. Степового, Й. Баха і Мікеланджело [2].

Ці положення є актуальними для нашого дослідження, адже процес формування навичок вокально-хорової роботи з різноманітними шкільними творчими колективами (вокально-хореографічними, естрадними гуртами тощо) і є поєднанням внутрішньовидової та міжвидової форм художньої взаємодії.

Інтегративні процеси в системі вокально-хорової підготовки здійснюються на декількох рівнях. Перший рівень – це поєднання трьох аспектів заданого виду фахової підготовки – теоретичного, методичного

і практичного, кожен з яких виконує свої специфічні функції. Так, теоретична підготовка, поєднуючи в собі психолого-педагогічну і фахову, спрямована на озброєння студентів знанням основ педагогіки і психології, дає глибокі та всебічні знання спеціального характеру (музично-історичні, музично-теоретичні, художньо-естетичні), у процесі методичної підготовки студенти вивчають фахові методики, які забезпечуючи їх готовність до навчально-виховної роботи в загальноосвітній школі та інших закладах освіти. В ході практичної підготовки майбутні вчителі музичного мистецтва опановують практичні навички та прийоми, що дозволяють успішно здійснювати професійну діяльність.

Другий рівень – це міждисциплінарна інтеграція, яка передбачає взаємодію структурних компонентів (навчальних дисциплін) системи музично-педагогічної підготовки студентів. Цю складну предметну структуру можна представити в такій послідовності: основний музичний інструмент; додатковий музичний інструмент; акомпанемент та імпровізація (або концертмейстерський клас); хорове диригування (на заняттях якого обов'язково вивчається гра хорових партитур); методика викладання вокалу (до переліку вимог з цієї дисципліни входить гра на фортепіано вокальних вправ різної фактури з модуляціями у всі тональності); шкільний пісенний репертуар; історія музики (вітчизняна й зарубіжна); музично-теоретичні дисципліни (гармонія, поліфонія, аналіз музичних творів); методика музичного виховання; художня культура; педагогічна практика.

Міждисциплінарна інтеграція забезпечує таку єдність цілей, функцій змістових і структурних елементів предметів, яка, будучи реалізованою у навчально-виховному процесі, сприяє узагальненню, систематизації та міцності знань, виробленню узагальнених умінь і, в кінцевому підсумку, – формуванню готовності до здійснення багатоаспектної професійної діяльності.

За своєю сутністю дана категорія має поліфункціональну комплексну педагогічну природу, а це означає, що встановлення міжпредметних зв'язків приводить до якісних змін не тільки у змісті навчання, але й у системі методів і організаційних форм. У результаті формування знань на міжпредметній основі підвищується їх світоглядне значення, зростає пізнавальний потенціал студентів, об'єктивно розширюються можливості реалізації розвивальних, освітніх і виховних функцій навчання.

Зауважимо, що міжпредметні зв'язки виражають найбільш загальні і важливі напрями взаємозв'язків науки і мистецтва, теорії і практики, відображених у змісті педагогічної освіти. Тому їх можна розглядати як дидактичну умову забезпечення системності змісту освіти, викладу навчального матеріалу, створення комплексних проєктів та організації пізнавального процесу.

Висновки. Отже, однією з умов оптимізації процесу вокально-хорової підготовки майбутнього вчителя музичного мистецтва є застосування інтегративного підходу. Інтеграція забезпечує таку єдність цілей, функцій змістових і структурних елементів предметів, яка сприяє узагальненню, систематизації та міцності знань, виробленню системи узагальнених умінь і формуванню готовності до здійснення багатоаспектної професійної діяльності.

Список використаних джерел

1. Гончаренко О, Культурологія і проблеми інтегрованого навчання учнів / О. Гончаренко // Педагогіка і психологія професійної освіти // Педагогіка і психологія професійної освіти. – 1999. – № 2. – С. 66–70.
2. Сова М. О. Інтеграція художньо-культурологічних знань у системі професійної підготовки вчителя гуманітарних дисциплін : дис. ... д-ра пед. наук, 13.00.04 / Сова Маргарита Олександрівна. – Київ, 2005. – 526 с.
3. Соколова О. В. Методичні основи інтеграції мистецьких знань у підготовці майбутніх учителів музики і художньої культури : дис. ... канд. пед. наук, 13.00.02 / Соколова Ольга Валеріївна. – Київ, 2004. – 207 с.
4. Назаренко М. Теоретичні основи інтеграції знань у системі вокально-хорової підготовки майбутнього вчителя музичного мистецтва. Наукові записки / Ред. кол.: В. В. Радул, В. А. Кушнір та ін. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград : РВВ КДПУ ІМ. В. Винниченка, 2015. – Вип. 139. – С. 151–154.

МЕХАНІЗМИ ФОРМУВАННЯ РЕКЛАМНОГО ОБРАЗУ: ВЕРБАЛЬНІ ТА ВІЗУАЛЬНІ ДОМІНАНТИ

Петрашук С. А.¹, Ковтун І. І.², Горошко А. Л.³

Хмельницький національний університет

E-mail: ¹petrashchuksv@khmnu.edu.ua, ²kovtunih@khmnu.edu.ua

³gemantus@ukr.net

Анотація. У статті проаналізовано теоретичні основи формування рекламного образу, його структуру, функції та вплив на споживача. Розглянуто взаємодію вербальних і невербальних елементів рекламного повідомлення, а також механізми сприйняття та ключові естетичні критерії. Узагальнено вимоги до створення ефективного рекламного образу та окреслено роль психологічних, соціокультурних і дизайнерських чинників у процесі його побудови.

Ключові слова: рекламний образ, маркетингові комунікації, візуальні домінанти, вербальні елементи, рекламне повідомлення, комунікативний вплив, візуальна комунікація, рекламна ідея, цільова аудиторія.

Рекламна діяльність є невід'ємною складовою сучасних маркетингових комунікацій. У структурі будь-якого рекламного повідомлення центральне місце займає рекламний образ – комплексний конструкт, який забезпечує цілісне сприйняття ідеї реклами та сприяє формуванню образу торгової марки. Рекламний образ виконує комунікативну, пізнавальну та емоційно-ціннісну функції, стаючи частиною соціокультурного середовища. Саме тому дослідження механізмів створення та сприйняття рекламних образів має важливе значення для підвищення ефективності маркетингових комунікацій [1].

1. Рекламний образ як елемент маркетингової комунікації.

Рекламний образ дозволяє концентровано передати основну ідею рекламного повідомлення, забезпечуючи миттєве сприйняття інформації. Будучи носієм ключових характеристик рекламованого об'єкта, він формує первинне або уточнене уявлення споживача про компанію і товар. У цьому контексті рекламний образ не лише виконує інформаційну функ-

цію, а й бере участь у формуванні культурного змісту, оскільки інтегрується в масову культуру та систему соціальних символів [2].

Зміст рекламного образу визначається рекламною ідеєю, яка є центральним комунікативним задумом. Ідея повинна бути чітко сформульована та вербалізована, найчастіше у формі слогана. Форма рекламного образу охоплює сукупність художніх засобів, зокрема композицію, візуальні елементи, кольорові рішення та графічні прийоми [3].

2. Структура рекламного образу. Рекламний образ традиційно розглядають як єдність змісту та форми. Зміст включає ідею, концепцію та ціннісні повідомлення. Форма охоплює візуальні та текстові складові, що здійснюють вплив на сприйняття. Структурно рекламний образ формується за рахунок взаємодії:

- вербальних компонентів: заголовок, слоган, основний рекламний текст, ехо-фраза, аргументи, стиль викладу;
- невербальних компонентів: фотографії, ілюстрації, графічні елементи, логотип, колір, композиційна структура.

Поєднання вербальних і невербальних складових (рис. 1) повинно бути гармонійним, змістовно узгодженим і орієнтованим на формування чіткого смислового образу, який легко інтерпретується цільовою аудиторією [2].



Рис. 1. Приклади вербальних (текстові блоки) та невербальних (ілюстрації) елементів рекламного повідомлення

3. Вербальні елементи рекламного повідомлення. Вербальна частина реклами виконує інформативну та переконувальну функції. Її структура зазвичай включає (рис. 2):

- заголовок, який привертає увагу та ідентифікує рекламований об'єкт;
- слоган, що концентрує ключову ідею рекламної кампанії та підсилює запам'ятовуваність бренду;

– основний рекламний текст, який містить аргументацію і пояснення споживчої вигоди;

– ехо-фразу, що дублює або підсилює головний меседж.

Ключовими вимогами до вербальних елементів є лаконічність, точність, інформативність та орієнтація на потреби цільової аудиторії. Ефективність рекламного тексту значною мірою визначається здатністю привертати увагу, транслявати унікальну торгову пропозицію та стимулювати дію [4].



Рис. 2. Візуальні елементи рекламного повідомлення:
ключовий образ (стривожена жінка, що читає підозріле повідомлення),
ехо-фраза («Is this really your son?»), попереджувальний слоган
(«STOP! THINK FRAUD»), логотип ініціатора кампанії
та інформативний блок з посиланням на ресурс для запобігання шахрайству

4. Візуальні елементи та їх комунікативні функції. Невербальна складова реклами забезпечує швидке сприйняття інформації і має здатність викликати емоційну реакцію. Візуальні елементи умовно поділяють на:

- основні (товар, вигода, логотип, ключовий візуальний образ);
- другорядні (декоративні елементи, фонові зображення, додаткові написи), див. рис. 3.

Візуальні матеріали можуть бути фотографічними, ілюстративними, символічними, а також створеними за допомогою 3D-моделювання. Їх функціями є привернення уваги, формування смислового образу, підсилення аргументації та забезпечення емоційного впливу [5].

Особливе значення мають такі властивості візуального образу, як простота, чіткість, гармонійність композиції та доцільність кожного елемента. Надмірна декоративність або складність може знижувати ефективність рекламного впливу.



Рис. 3. Візуальні елементи рекламного повідомлення:
товар (туш для вій), вигода (ефект об'ємних вій та знімний блок),
логотип бренду, ключовий візуальний образ (модель-амбасадор)

5. Механізм візуального сприйняття реклами. Психологічні дослідження свідчать, що сприйняття рекламної композиції відбувається за стереотипною траєкторією: «зображення – заголовок – текст – повторне звернення до зображення». Саме тому ключовий візуальний елемент (Key Visual) має домінуюче значення у залученні уваги та формуванні загального образу [6].

Непослідовність або смислова невідповідність між текстом і візуальною частиною ускладнює інтерпретацію реклами і знижує її ефективність. Гармонійний взаємозв'язок між компонентами посилює переконувальний вплив і підвищує запам'ятовуваність.

6. Психологічні та соціокультурні чинники формування рекламного образу. Створення ефективного рекламного образу потребує урахування таких чинників:

1. Особливості рекламованого об'єкта – його властивості, вигоди та конкурентні переваги.
2. Психологічні механізми сприйняття – принципи гештальт-психології, особливості уваги, пам'яті та емоцій.
3. Потреби і мотивація цільової аудиторії – прагнення, цінності, очікування.
4. Соціокультурні контексти – символи, міфи, колективні уявлення, норми моральності й естетики.

Дослідження демонструють, що найбільшу реакцію викликають образи, пов'язані з фундаментальними темами (кохання, небезпека, їжа, подорожі, міфи, смерть) та персонажі з високим емоційним потенціалом (діти, тварини, знаменитості, нестандартні персонажі), рис. 4.



**Рис. 4. Візуальні елементи інфографіки:
емоційні тригери (радість, страх, інтрига, гнів)
та персонажі-ілюстрації, що моделюють типові реакції
й підсилюють залучення споживача**

Високу ефективність також демонструють ілюстрації «до/після», демонстрація вигоди або порівняння з конкурентами [3].

Висновки. Рекламний образ є ключовим елементом ефективної маркетингової комунікації, який забезпечує миттєве, емоційно забарвлене та змістовне сприйняття рекламного повідомлення. Його формування ґрунтується на взаємодії вербальних і невербальних складових, які повинні бути структурно і за змістом узгодженими. Висока якість рекламного образу досягається завдяки простоті, гармонійності, чіткості та відповідності соціокультурним нормам.

Список використаних джерел

1. Бернадська Н. В. Рекламна комунікація: теорія і практика. Київ : Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», 2019. 312 с.
2. Ковальчук Т. І. Візуальні комунікації в маркетингу: сучасні підходи та моделі. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2020. 284 с.
3. Жадан О. М. Психологія рекламного впливу: механізми сприйняття та переконання. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2021. 256 с.
4. Moriarty S., Mitchell N., Wells W. Advertising & IMC: Principles and Practice. 10th ed. New York : Pearson, 2019. 672 p.
5. Scott L. Visual communication theory in advertising // Journal of Advertising Research. 2020. Vol. 60, No. 3. P. 245–258.
6. Messaris P. Visual Persuasion: The Role of Images in Advertising. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2018. 224 p.

КОЛІР ТА ВИДИ ГАРМОНІЙ В ІНТЕР'ЄРІ

Шерстинюк А. М.

Хмельницький національний університет

E-mail: sherstyniuka@khmnu.edu.ua

Анотація. У статті детально розглянуто вибору кольору в інтер'єрі, також приклади гармоній при створення інтер'єрів різного призначення, основні аспекти та поради щодо використання кольору здобувачами освіти спеціальності «Дизайн». Таким чином дана стаття може бути корисною для оволодіння навичками та умінням використання кольору та гармоній в інтер'єрі та створенні дизайн об'єктів.

Ключові слова: інтер'єр, світло, психологію кольору, контраст, теплі і холодні кольори, природні палітри, види гармоній, мистецтво створення гармонії.

Вибір кольору в інтер'єрі – це ключовий етап створення гармонійного та функціонального простору. Кольори впливають на наш настрій, сприйняття розмірів кімнати та загальну атмосферу.

Ось основні аспекти та поради. Щодо використання кольору в інтер'єрі потрібно звернути увагу на сприйняття – психологію кольору.

Кожен колір має певний психологічний вплив на людину. Отже теплі кольори (червоний, помаранчевий, жовтий) створюють відчуття затишку, стимулюють активність, апетит та спілкування. Ідеально підходять для вітальні, кухні та їдальні. Холодні кольори (синій, зелений, фіолетовий) заспокоюють, розслабляють, візуально збільшують простір. Чудово підходять для спальень, ванних кімнат та робочих кабінетів. Нейтральні кольори (білий, сірий, бежевий): Універсальні, слугують чудовим фоном для інших елементів декору, додають елегантності та простору.

Важливо врахування факторів при виборі кольору на призначення кімнати. Активна кухня чи спокійна спальня потребують різних колірних рішень. Освітлення: у кімнатах з природним освітленням можна використовувати більш насичені та холодні тони. У темних приміщеннях краще обирати світлі та теплі відтінки. Штучне освітлення та розмір приміщення також змінює сприйняття кольору. Світлі кольори візуально розширюють простір, темні – роблять його більш інтимним та затишним (але можуть «стискати» малі кімнати). Світло вирішальним чином впливає на сприйняття кольору і кольорових поєднань, він же кольором не володіє, лише освітленістю. Наслідком дії, на спільній дії адаптаційної яскравості і стабільності поєднання кольору, є сприйняття всієї зовнішньої картини інтер'єру. Цей вплив залежить від спектрального складу джерела освітлення і способу світлорозподілу.

Дія хроматичних кольорів із ахроматичними при великому хроматичному розмаху світлових контрастів відрізняється значною активністю. Поєднання червоного з чорним сприймається як гнітюче, трагічне, загрозливе, червоного з сірим – строго, червоного з білим – гармонійно, жовтого з чорним – яскраво, жовтого з білим – м'яко, приємно, синього з чорним – мертво, синього з білим – прохолодно, чисто, сивого з сірим – строго.

При поєднанні хроматичних кольорів з ахроматичними особливо важливо дотримуватися світлотного контрасту (рис. 1).



а



б



в

Рис. 1. Приклади візуально збільшення простору кольором (зелений, синій, фіолетовий)

Інакше такі поєднання, як, наприклад, червоного з білим або синього з чорним, можуть втратити виразність.

Щодо трьох-чотирьох кольорних поєднань можна обмежитися загальною вказівкою, що в них завжди повинен домінувати один колір, а одна допоміжна група повинна об'єднувати всі інші, діючи як винищувальний колір в двоколірних поєднаннях. Наприклад, при домінуючому червоному допоміжна тепла група із жовтого і блакитного повинна розміщуватися по впливу до додаткового зеленого.

Важливо також вплив кожного кольору в поєднанні, що залежить від його місцезнаходження (вгорі, знизу, збоку, поблизу і т. д.), коли його дія може змінюватися під впливом попереднього і послідовного, хроматичного і світлотного контрастів, іррадіації, кольорової тіні та тимчасових змін.

Чистий або насичений колір виглядає яскравіше по сусідстві з ахроматичним. Теплий колір при сусідстві з більш холодним виглядає

теплішим, а з менш насиченим стає більш холодним. Саме сприйняття залежить від вікових уподобань, різниці почуття кольору, але не предметів, властивостей характеру і навіть настрою та даної емоції. Немалу роль відіграє алюзія, незвичність враження.

Само мистецтво як простір, що створюється світлом і кольором, тому, вирішуючи його кольорову комбінацію, колір в його світлоті, насиченості, чистоті, фактурності, психофізіологічний вплив кожного кольору окремо і всього інтер'єру, знаходиться в строгій закономірній залежності від освітлення.



Рис. 2. Результати зміни сприйняття розміру приміщення від кольору та освітлення

Важливе значення має роль насиченості та цінності кольору в гармонії.

Гармонія – це не лише про відтінок, але й про насиченість (інтенсивність) і цінність (світлість/темність) кольору. Баланс насиченості: Поєднання яскравих, насичених кольорів з приглушеними або нейтральними створює візуальний інтерес без перевантаження. Яскраві кольори привертають увагу, приглушені — слугують фоном. Контраст цінності: Використання світлих і темних тонів (наприклад, темна підлога і світлі стіни) додає інтер'єру глибини та структури. Навіть монохромна схема потребує контрасту світлого і темного для гармонії.

У кольорознавстві виділяють типи колористичних гармоній, зображені на рис. 3.

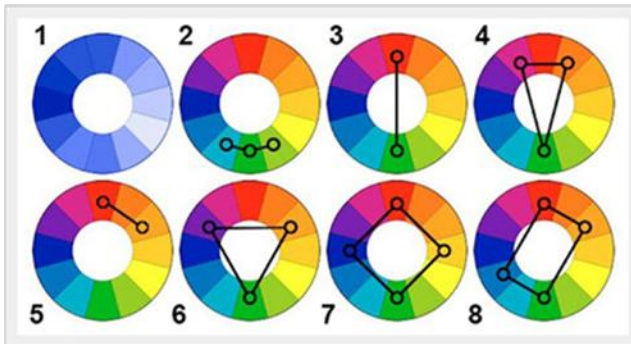


Рис. 3. Схеми гармонійного поєднання кольорів

1. Однотонова (або монохромна гармонія, одноколірна) – використовуються кольори, розташовані тільки в одному секторі. В однотонній гармонії розрізняють кольори тільки за світлотою і насиченістю. Часто використовують ахроматичні кольори.

2. Аналогова гармонія (споріднені). Основою аналогової гармонії можуть стати будь-які три кольори, що йдуть один за одним на колірному колі з 12-ти частин. Як правило, один з відтінків домінує. У колористичному колі є чотири групи аналогових кольорів: синьо-червоні, зелено-сині, жовто-зелені, жовто-червоні. Аналогова комбінація передбачає сполучення від двох до чотирьох-п'ятьох суміжних кольорів, включаючи їх відтінки і тони. Таке поєднання викликає приємні відчуття спокою, гармонії, урівноваженості, налаштовує на позитив (див. рис. 2).

3. Комплементарна гармонія (контрастних, додаткових). Комплементарна гармонія – будь-які два кольори, розташовані на протилежних сторонах колірного кола. Комплементарні поєднання забезпечують максимальну активність, напругу, динамічність дизайну. В композиції

повинен бути базовий (вихідний) колір, що доповнюється додатковими кольорами (див. рис. 3).

4. Подвійна комплементарна гармонія (або родинно-контрастна) є комбінацією, як правило, двох пар комплементарних кольорів. Оскільки кольори, котрі застосовуються у такому сполученні, підвищують явну інтенсивність кожного з них, то деякі пари можуть бути неприємні для ока. При застосуванні чотирьох кольорів потрібно запобігати використанню кольорових плям однакової площі (рис. 4). Така колористична гармонія є активною і складною.



а



б

Рис. 4. Монохромна гармонія (а), комплементарна гармонія (б)

5. Аналогова гармонія у поєднанні з комплементарною – гармонія заснована на будь-якому аналоговому поєднанні плюс колір, який є комплементарним середньому кольору обраної аналогової схеми.

6. Тріадна гармонія. Кольори подібного поєднання лежать на вершинах рівностороннього трикутника, розміщеного всередині кольорового кола.

7. Квадратна схема схожа на прямокутну, але передбачає рівномірне розміщення всіх чотирьох кольорів, включаючи один первинний, один вторинний і два третинних кольори.

8. Гармонійне поєднання кольорів у прямокутній схемі використовуються чотири кольори, тобто дві пари, кожна з яких є комплементарною.

Сучасні підходи до гармонії: «Природні палітри». Один з найбезпечніших та найгармонічніших підходів – черпати натхнення у природі. Природні поєднання майже завжди бездоганні:

Лісова галявина: різні відтінки зеленого, коричневого (дерево, меблі), акценти жовтого або білого (квіти, світло).

Морський бриз: блакитний, білий, пісочний, акценти коралового або насиченого синього.

Захід сонця: теплі помаранчеві, рожеві, фіолетові відтінки на тлі нейтрального сірого або бежевого неба.

Використання цих принципів допоможе вам перейти від просто «пофарбованої кімнати» до продуманого, цілісного і гармонійного інтер'єру.

На завершення підсумовуємо всі ключові моменти щодо використання кольору та гармоній в інтер'єрі: Колір в інтер'єрі – це потужний інструмент, який виходить далеко за межі простої естетики. Це мова, що формує атмосферу, впливає на наш емоційний стан та функціональність простору. Головна мета роботи з кольором – досягнення гармонії.

Гармонійний інтер'єр не обов'язково має бути нудним чи монотонним. Він може бути яскравим, контрастним, динамічним, але завжди збалансованим. Досягнення цього балансу можливе завдяки: розумінню психологічного впливу різних відтінків; дотриманню правил пропорцій (як-от правило 60–30–10); використанню перевірених кольорних схем (монохромних, аналогових, тріадних чи комплементарних), адаптованих під конкретні умови освітлення та розміри кімнати.

Список використаних джерел

1. Іттен И. Мистецтво кольору. Суб'єктивний досвід і об'єктивне пізнання як шлях до мистецтва / И. Иттен. – Київ : Изд. Д. Аронов, вид. ArtHuss, 2022. – 96 с.

2. Лаптон Е. Основи. Графічний дизайн 04: нові основи / Еллен Лаптон, Дженніфер Коул Філліпс. – Київ : Изд. Д. Аронов, вид. ArtHuss, 2020. – 96 с.

3. Патрік Б. Анатомія кольору. Історія спадщини Фарб та пігментів / Б. Патрік, переклад з англ. Н. Боберської. – Київ : вид. ArtHuss, 2023. – 368 с.

4. Печенюк Т. В. Кольорознавство : підручник / Т. В. Печенюк. – Київ : Вид-во «Грані-Т» 2010. – 192 с.

ЕТАПИ ВИКОНАННЯ АФІШИ ДО ВИСТАВИ ЗА ДРАМОЮ ГЕНРІКА ІБСЕНА «ДИКА КАЧКА»

Литвиненко В. С.

Хмельницький національний університет

E-mail: lytvynenkovs@khmnu.edu.ua

Анотація. У статті стисло розглянуто еволюцію театральних афіш, як виду театрально-сценічного мистецтва (сценографії) у країнах Європи та в Україні. На прикладі академічного стилю традиційними матеріалами (у техніці акварелі) розглянуто принципи композиційної побудови, лінійно-конструктивного рисунка і кольорового рішення у виконанні театральної афіші до вистави за драмою Генріка Ібсена «Дика качка». Надано основні рекомендації для створення театральних афіш академічного характеру.

Ключові слова: театрально-сценічне мистецтво, сценографія, театральна афіша, вистава, ескіз до афіші, Генрік Ібсен.

Метою цієї публікації є стислий розгляд історії сценографії зокрема, еволюції розвитку театральної афіші, як підвиду мистецтва оформлення вистав. На основі вивченого досвіду запропоновано виконання етапів власної афіші до вистави за обраним твором (драмою).

Театрально-декораційне мистецтво або сценографія – галузь образотворчого мистецтва, що її завданням є оформлення простору сцени і надання візуальної оправи театральній виставі за допомогою пластично-малярських засобів та світлових ефектів. До сценографії належить також афіша до вистави, компонування сценічних реквізитів і костюмів, створення декорацій та грим.

Мистецтво сценографії починає розвиватися ще із доби «ренесансу», коли у XV – початку XVI ст. в Італії, до театрального мистецтва зверталися такі відомі митці та архітектори як Брунеллескі, Мантенья, Леонардо да Вінчі, Рафаель й ін.

В Україні театрально-декораційне мистецтво зародилося у вертепному і шкільному театрі (симультанна сцена і сцена-естрада, лаштунки, костюми та реквізити), розвинулося у придворному і домашньому театрі кінця XVIII – початку XIX ст. і перейшло до аматорських і професійних пересувних театрів, що послуговувалися однаковими декораціями для різних п'єс.

Театральна афіша, як вид сценографії або як вид сценічної реклами, тобто як приклад реклами до будь-якого виду дійства) виявила себе приблизно с середини XIX ст. у Франції із розвитком кабаре як жанру вистави, коли в мистецтві панував стиль «модерн» (з такими яскравими представниками як Обрі Бердслей, Теофіль Стейнлен, Анрі

де Тулуз-Лотрек (рис. 1). Як правило, ці афіши (театральні плакати) виконувалися вручну з використанням авторських «кліше» і відносилося до друкованої авторської графіки.

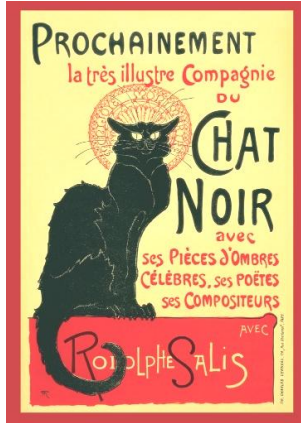
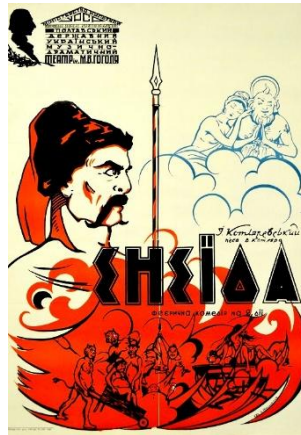


Рис. 1. Теофіл Стейнлен. Афіша кабаре Chat Noir, 1928

Подібні тенденції можна прослідкувати і в українській сценографії на прикладі робіт Володимира Геращенка, який протягом 1960–1980-х років працював у Полтаві (рис. 2, а – б).



а

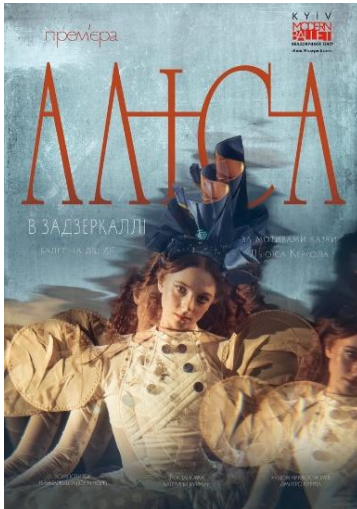


б

Рис. 2. Приклади театральних афіш до вистав Володимира Геращенка

У XX ст. разом зі збереженням традиційних технік виконання афіш вручну використовується і фотодрук та поєднання мальованої та фототехнік в колажі, а у XXI ст. ще і – комп'ютерна графіка.

Приклади виконання афіш до вистав у сучасних техніках та, відповідно, у цифровому друці наведено в рис. 3, а–б.



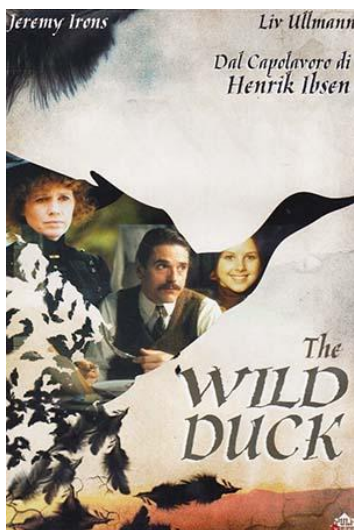
а



б

Рис. 3. Приклади сучасних афіш полтавського театру імені Миколи Гоголя

Використовуючи світовий та вітчизняний досвід та виявляючи цікавість до сценографії та, зокрема, до створення театральних афіш, у техніці «вручну», автор даної статті звернувся до драми в п'яти діях видатного норвезького драматурга, засновника напряму «нової драми», театральний реформатора, поета і публіциста Генріка Ібсена (1828–1906) «Дика качка» (1884 р.). Слід зазначити, що, незважаючи на наявність вистави за зазначеним літературним драматичним твором у репертуарі багатьох театрів Європи та США, починаючи з прем'єри 9 січня 1885 р. у норвезькому Бергенському театрі (реж. Гуннар Хейберг) і закінчуючи сьогоднішнім, афіш-аналогів до неї автором не було знайдено. Проте було знайдено афіші до кінострічок за даним твору Г. Ібсена (твір неодноразово екранізували у 1963, 1970, 1984, 1989 рр. у Норвегії, Австралії та Німеччині), в яких відображено і головних героїв твору, і силует дикої качки (рис. 4, а–б).



a



b

Рис. 4. Приклади афіш екранізацій драми Г. Ібсена «Дика качка»
а) 1983 р. (Австралія); б) 1976 р. (Німеччина, ФРН)

Автор цієї статті під час створенні афіші у класичній зображальній академічній традиції (у техніці акварелі) намагався передати головний наратив драми. В ньому звичайна дика качка, яку підстрілили на полюванні та принесли до будинку, раптом стає символом загального нещастя в одній родині. Вона об'єднала не лише членів сім'ї Екдал, а й тих, хто входив до їхнього дому. Донька Ялмара Екдала (фотографа) і його дружини Гіни, Хедвіг, чотирнадцяти років, стає головною героїнею, чие життя, нажаль, закінчується трагічно.

При задумці композиції афіші автор спирався на відображення відгородженої частини горища родового маєтку з характерним нахиленим дахом, в якому мешкали члени родини Екдалів. Частину горища було перетворено у фотоательє. Ознакою демонстрації фотоательє є зображення зліва фотоапарату на тринозі, характерної моделі подібного обладнання того часу. В іншій частині горища тримали кроликів, на яких періодично полював старий Екдал, та принесену поранену дику качку. Оскільки донька Ялмара та Діни Хедвіг мала поганий зір, у композицію афіші також ввійшло зображення її окулярів, які вона носила, коли допомагала батькові ретушувати фотографії. Натяг на трагічну розв'язку драми показаний автором через образ-силует Хедвіг при ве-

чірному світлі, в холодному колориті, з револьвером в правій руці і патронажем у лівій (дівчина знала, де зберігалася зброя).

Цікаво, що в чорно-білому ескізі до афіші (першій версії задуму твору) автор зобразив дівчину не зі зброєю, а з підсвічником, оскільки на горищі завжди панує сутінкове приглушене освітлення, але револьвер зображено в правому нижньому куті (рис. 5).



**Рис. 5. «Ескіз афіші до вистави за драмою Г. Ібсена «Дика качка»
(графітовий олівець, Владислав Литвиненко)**

Також треба відмітити, що в побудові композиції афіші, відображення архітекtonіки горища передано через дерев'яну підлогу, опорні балки, які підтримують дах. Також характер узагальненої трикутної форми даху підкреслено каскадним розташуванням літер надпису автора драматичного твору (Генрік Ібсен), а ознака часу – підбором стилю шрифту того часу.

Безумовно, центром композиції афіші є корзинка з дикою качкою, застелена соломкою (рис. 6–8).

В колориті домінують теплі кольори: коричнюваті, жовто-гарячі, золотисті із поєднанням холодних червоних (малинових), синьо-фіолетових та синьо-зелених (рис. 7–8).

Кольорове рішення виконувалося у два основних етапи:

1) підкладку, тобто розкриття «великих» кольорових відносин, де колір набиралася поступово, починаючи із дальнього плану;

2) опрацювання форми та деталей, де колір набув більш насичених відтінків (рис. 7–8).

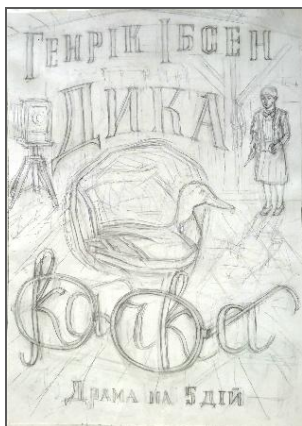


Рис. 6. Лінійно-конструктивний рисунок афіші до вистави за драмою Г. Ібсена «Дика качка» (графітовий олівець Владислав Литвиненко)

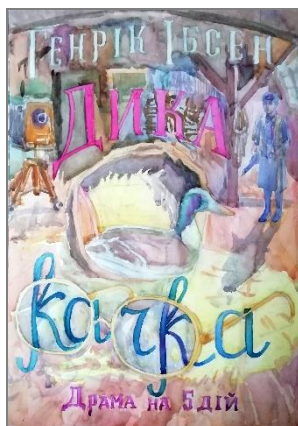


Рис. 7. Перший етап кольорового рішення афіші до вистави за драмою Г. Ібсена «Дика качка» (акварель, Владислав Литвиненко)

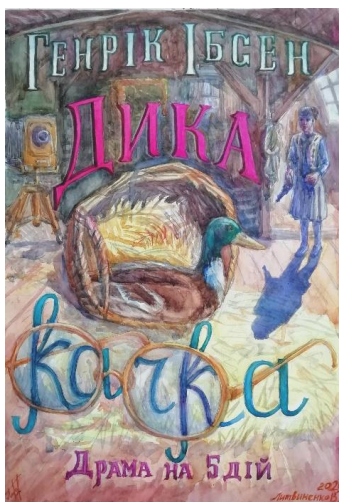


Рис. 8. Завершена афіша до вистави за драмою Г. Ібсена «Дика качка» (2025 р., папір, акварель; 60 × 42 см, Владислав Литвиненко)

Таким чином, розглядаючи театральні афіші, можна зазначити, що вони є невід’ємною складовою оформлення вистави (мистецтва сценографії) за драматургічними, літературними творами та до кінострічок. Незважаючи на різноманітні матеріали та техніки їх виконання, вони відображають загальний характер вистави і повинні занурити глядача в її атмосферу. Під час створення театральної афіші академічного характеру рекомендовано звертати увагу і на місце (узагальнене середовище), де відбуваються події, і на образи дійових осіб. Для виконання надписів із зазначенням автора і назви вистави, важливим є підбір шрифту відповідного стилю того часу.

Список використаних джерел

1. Основи сценографії. Ч. I. Театральний простір : посібник / Н. Руденко-Краєвська. – Львів : ЛНАМ, 2020.
2. Основи сценографії. Ч. II. Функції сценографії : посібник / Н. Руденко-Краєвська. – Львів : ЛНАМ, 2022.
3. Шпак В. О. Основи живопису. Акварель : навч. посіб. Київ, 2017. 256 с.: іл.

ВПЛИВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ТРАНСФОРМАЦІЮ ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ

Іванова Н. Ю., Горілий А. Р.

Національний університет «Києво-Могилянська академія»

E-mail: n.ivanova@ukma.edu.ua, a.horilyi@ukma.edu.ua

Анотація. У сучасних умовах відбувається зміщення центру економічної вартості з фізичної та ручної праці на інтелектуально-когнітивні форми діяльності. Штучний інтелект вже не є лише технологічним інструментом – він стає фундаментальним чинником трансформації самої логіки створення доданої вартості, у межах якої людський капітал виступає головним носієм інноваційного потенціалу. Йдеться не лише про витіснення працівників з окремих галузей, а про якісну зміну взаємодії між людиною і машиною, у межах якої штучний інтелект не підмінює, а підсилює людські когнітивні можливості.

Ключові слова: людський капітал, штучний інтелект, ринок праці.

Стрімке поширення технологій штучного інтелекту у ХХІ ст. визначає новий етап еволюції соціально-економічних систем, у межах якого ключовими детермінантами продуктивності стають знання, інтелектуальні здібності, креативність і здатність людини взаємодіяти з алгоритмічними системами.

На відміну від попередніх технологічних революцій, де домінував ефект заміщення людської праці машинами, нинішня хвиля цифровізації характеризується інтеграційним ефектом. Йдеться не лише про витіснення працівників з окремих галузей, а про якісну зміну взаємодії між людиною і машиною, у межах якої штучний інтелект не підмінює, а підсилює людські когнітивні можливості [1].

Як зазначає McKinsey Global Institute, інтеграція інтелектуальних систем у виробництво та сферу послуг створює передумови для підвищення продуктивності на 0,8–1,4 % щорічно, але водночас вимагає радикального оновлення професійних навичок і знань. Таким чином, людський капітал перестає бути лише об'єктом технологічного впливу –

він стає центральним елементом інноваційного розвитку, без якого потенціал штучного інтелекту не може бути реалізований у повному обсязі. Йдеться не лише про автоматизацію окремих операцій чи професій, а про системну зміну структури попиту на компетентності, формування нової вартості праці та перегляд традиційних соціально-економічних ієрархій, у яких провідні позиції посідають працівники, здатні інтегрувати технології у власну професійну діяльність [2].

У цьому контексті людський капітал набуває ознак стратегічного ресурсу, який визначає не лише рівень національної конкурентоспроможності, а й темпи інституційної адаптації суспільства до нової технологічної парадигми [3]. Трансформація відбувається не на периферії економічних процесів, а в їхньому ядрі – у взаємодії між знаннями, технологіями та соціальними інститутами, що створюють умови для перерозподілу економічної вартості між людським і штучним інтелектом.

Подальший розвиток штучного інтелекту зумовлює суттєві структурні трансформації на ринку праці, які охоплюють як кількісні, так і якісні параметри людського капіталу. Відбувається перерозподіл трудових ресурсів між секторами, зростає попит на професії, що поєднують технічні, аналітичні та когнітивно-креативні навички, тоді як позиції, засновані на рутинних або механічних функціях, поступово зникають [1].

Таким чином, зміни, спричинені розвитком штучного інтелекту, можна розглядати як третю хвилю технологічної диференціації праці – після індустріальної автоматизації та комп'ютизації. Проте на відміну від попередніх етапів, сучасна трансформація має не лінійний, а мережево-інтегрований характер, що проявляється у формуванні нових міжгалузевих спеціальностей і гібридних професій, таких як AI-координатор, етичний аналітик даних, дизайнер цифрових екосистем чи архітектор людсько-машинної взаємодії [1, 4]. Саме в цьому вимірі проявляється ключова закономірність сучасної економіки знань – поступове злиття когнітивного потенціалу людини та алгоритмічних можливостей машин у єдину систему продуктивних сил.

Аналіз динаміки ринку праці свідчить, що вплив штучного інтелекту не обмежується автоматизацією окремих видів діяльності, а створює умови для нового поділу праці на основі рівня цифрової компетентності та здатності до адаптивного навчання. Саме тому дослідження взаємозв'язку між людським капіталом і ШІ набуває стратегічного значення для розуміння механізмів економічного зростання у XXI столітті.

Подальший розвиток штучного інтелекту спричиняє глибоку структурну перебудову світового ринку праці, що має як позитивні, так і суперечливі наслідки для формування та відтворення людського капіталу. Впровадження інтелектуальних технологій у виробництво, фінан-

сову сферу, транспорт, освіту й охорону здоров'я змінює баланс попиту й пропозиції робочої сили, формуючи нові пріоритети у системі компетентностей. Якщо раніше конкурентоспроможність працівника визначалася рівнем спеціалізованої кваліфікації, то тепер вирішальне значення мають цифрова грамотність, аналітичне мислення, гнучкість, міждисциплінарність і здатність до навчання протягом життя [5].

Розвиток штучного інтелекту призводить не лише до якісних змін у структурі ринку праці, але й до перегляду самої вартості людського капіталу, тобто економічної оцінки знань, умінь, навичок і креативних здібностей працівників. У традиційній економічній моделі вартість праці визначалася через продуктивність фізичних або технічних операцій, тоді як у сучасній цифровій економіці цей зв'язок дедалі більше опосередковується інтелектуальними та когнітивними чинниками. Рівень винагороди тепер залежить не від формального освітнього статусу, а від здатності працівника інтегрувати цифрові інструменти, алгоритми та аналітичні системи у власну діяльність [5].

Розвиток штучного інтелекту не лише змінює структуру економіки та систему зайнятості, але й вимагає глибокої трансформації інституцій освіти, професійної підготовки та соціальної адаптації населення. В умовах, коли технологічний цикл оновлення знань скоротився з десяти до трьох–п'яти років, а компетентності швидко втрачають актуальність, освіта перестає бути лінійним процесом, обмеженим дитинством або юністю. Вона перетворюється на динамічну екосистему безперервного навчання (lifelong learning), у межах якої головним ресурсом розвитку стає здатність людини швидко оновлювати свої знання та адаптуватися до змін технологічного середовища [6].

Таким чином, процеси цифровізації та поширення штучного інтелекту вимагають нової моделі державної політики у сфері людського капіталу – політики, яка поєднує освітні, соціальні, інноваційні та регуляторні інструменти. Формування ефективної екосистеми безперервного навчання, зменшення цифрового розриву та інтеграція технологій у систему освіти є передумовами не лише економічного зростання, а й забезпечення соціальної стійкості в умовах технологічної турбулентності. Людський капітал у цьому контексті виступає головним медіатором між прогресом і стабільністю – чинником, від якого залежить, чи стане штучний інтелект інструментом розвитку, чи джерелом нерівності.

Список використаних джерел

1. Штучний інтелект:: лідерство думок, аналіз та рішення світових проблем. URL: <https://www.weforum.org/stories/artificial-intelligence/>

2. Людський потенціал. URL: <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/labor-markets>
3. Autumn 2022 Economic Forecast – The EU economy at a turning point. URL: https://economy-finance.ec.europa.eu/economic-forecast-and-surveys/economic-forecasts/autumn-2022-economic-forecast-eu-economy-turning-point_en
4. Харарі Ю. Н. Ші хакнув мозок людини. URL: <https://encrypted.com/ua/harari-shi-haknuv-mozok-lyudini/>
5. OECD Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market. URL: https://read.oecd-ilibrary.org/en/publications/oecd-employment-outlook-2023_08785bba-en/full-report.html
6. Analytical Report – Use of Advanced ICT/AI for Digital Transformation of Education, UNESCO IITE & SOU (2022). URL: https://iite.unesco.org/wp-content/uploads/2022/07/Analytical-Report_Ed_AI.pdf

МАРКЕТИНГОВА СТРАТЕГІЯ ПІДПРИЄМСТВ

Чобіток В. І., Костін М. Д., Костін Ю. Д.

Харківський національний університет ім. Каразіна

Навчально-науковий інститут «УІПА», e-mail: kaf.mtp@ukr.net

Анотація. У статті розглядаються основні напрями проблем ефективного використання комплексу стратегії маркетингу (маркетингової діяльності підприємства). Процес формування маркетингових стратегій є ефективним інструментом посилення ринкових позицій вітчизняних підприємств. У роботі виокремлено напрями стратегічного планування маркетингу, особлива роль місії підприємства та психологічні аспекти у роботі індивіда.

Ключові слова: маркетингова стратегія, місія, планування маркетингу, психологічні аспекти.

Метою дослідження є аналіз та систематизація теоретичних засад формування маркетингової стратегії діяльності підприємства.

Стратегія розглядається насамперед як траєкторія руху підприємства у перспективному періоді, що визначає напрямки розвитку, сфери діяльності, взаємодії організації з іншими суб'єктами ринку. Стратегія встановлює, за допомогою яких засобів, методів та інструментів планується досягти цих цілей. У зв'язку цим, на нашу думку, на перший план виходить місія підприємства, стратегічне планування маркетингу та емоційні і психологічні витрати організації та індивіда.

У широкому розумінні місія втілює філософію організації, тобто визначає цінності, переконання, пріоритети і принципи, якими керується колектив. У більш вузькому значенні місія декларує причини створення, основні цілі і напрями діяльності організації, продукти або послуги, які виробляє організація, а також потенційні ринки і споживачів, для яких вона працює. Правильно викладена місія не тільки створює сприятливі можливості для ефективного управління розвитком, а й робить організацію унікальною у своєму роді.

Місія повинна давати чіткі відповіді на потреби та очікування заінтересованих груп споживачів суспільства в цілому, та місцевої влади, бізнесу, а також містити інформацію про інструменти та технології своєї реалізації і водночас не суперечити практичним діям.

Визначення місії дозволить окреслити довгострокові напрями роботи, вирішити куди необхідно рухатися у майбутньому.

Місія є важливий інструмент керівників для визначення довгострокової стратегічної орієнтації діяльності. Саме на основі місії формуються всі інші цілі, спрямовані на забезпечення безперервності розвитку, а також визначають показники, за якими буде оцінюватися успішність роботи тощо.

Стратегічне планування маркетингу можна визначити як управлінський процес створення і підтримки довгострокової відповідності між цілями підприємства і потенційними можливостями (ресурсами) та шансами (ризиками) у сфері маркетингової діяльності.

Стратегічне планування у маркетингу має наступні особливості:

- найчастіше розраховано на тривалий період, проте відрізняється від довгострокового планування. У стратегічному плануванні за основу береться не часовий горизонт (аспект), а зміст плану, визначений складністю і глибиною вирішуваних проблем;

- затверджуються продукти, послуги, ринки та сегменти, з якими підприємство працюватиме, а також кількісні й якісні цілі (імідж, збут частка ринку, рівень рентабельності);

- визначає принципи поведінки підприємства щодо ринкових партнерів і формулює цілі та завдання комплексу маркетингу;

- розробляються й оптимізуються маркетингові бюджети і розподіляються ресурси підприємства між її структурними підрозділами.

Забезпечення ефективного функціонування підприємства на ринку можливе при спрямуванні своєї діяльності на вибір та розробку в довгостроковій перспективі найбільш оптимальних шляхів досягнення поставленої мети свого існування, яка формується відносно психологічних особливостей індивіда: інтелект у балах; рівень розумового розвитку у балах; креативність у балах; загальна агресивність у процентах, індекс

ворожості у процентах; асертивність у балах, комунікабельність у процентах; організаторські здібності у процентах.

Отже, врахування психологічних особливостей індивіда дозволить правильно встановити маркетингову ціну на послуги що персонал надає підприємству в процесі реалізації стратегії підприємства.

Висновки. Маркетингова діяльність як функція підприємницької діяльності виконує роль регулятора причинно-наслідкових зв'язків між попитом і пропозицією на основі безперервного відстежування поведінки споживачів і механізму адаптації підприємства до мінливої економічної кон'юнктури на ринку.

Процес формування конкурентної стратегії складається із послідовного виконання наступних етапів: стратегічний аналіз конкурентної позиції підприємства на ринку; вибір стратегічної мети розвитку; визначення маркетингової конкурентної стратегії; розробка підходів щодо реалізації обраної стратегії; оцінка і контроль за ходом реалізації стратегії.

Сформована стратегія має відповідати жорстким вимогам, а саме: створювати економічні або конкурентні цінності підприємства; виконуватися за допомогою доступних ресурсів; бути прийнятною для всіх рівнів виконання; ґрунтуватися на реалістичних передбаченнях і точній інформації; бути достатньо гнучкою, щоб адаптуватися до змін зовнішнього та внутрішнього середовища.

Список використаних джерел

1. Polishchuk I. I. Synergic approach in marketing potential management of the enterprise / О. І. Гончар, І. І. Polishchuk // Науковий вісник Полісся. – 2017. – № 3 (11). Ч. 2. – С. 29–33.
2. Буковинська М. Філософія організації як стратегічний інструмент управління / М. Буковинська, Н. Корж // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2012. – № 44. – С. 138–144.
3. Шевченко Л. С. Місія університету в системі освітнього менеджменту / Л. С. Шевченко. – URL: http://dspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/5887/1/Shevchenko_77-80.pdf
4. Романова Л. Маркетингове планування як складова управління роз витком підприємства / Л. Романова, О. Кондратенко // Наукові праці МАУП. – 2023 – Вип. 1. – С. 112–120.
5. Басій Н. Ф. Стратегічний маркетинг : посібник. Н. Ф. Басій. – Львів : Вид-во Львівської комерційної академії, 2015. – 463 с.
6. Майорова Н. І. Практична адаптація технології внутрішнього маркетингу до системи управління персоналом промислового об'єкту /

Н. І. Майорова // Вісник Хмельницького національного університету. - 2010. – № 6. – С. 355–358.

7. Сиволоб К. А. Формування маркетингової стратегії в діяльності підприємства / К. А. Сиволоб // Розвиток Європейського простору очима молоді: економічні, соціальні та правові аспекти. – 2016. – № 2. – С. 158–164.

8. Мазур О. В. Маркетингова стратегія як засіб виходу підприємства АПК на зовнішній ринок / О. В. Мазур // Зб. наук. пр. ВНАУ. – 2022. – С. 138–144.

9. Балановська Т. І. Алгоритм вибору маркетингової стратегії підприємств / Т. І. Балановська, О. М. Гавриш // Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Серія: Економічні науки. – 2024. – Вип. 2 (7), т. 1. – С. 45–51.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ У ВІДНОВЛЮВАЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ ПІСЛЯ РУЙНУВАННЯ

Шатрова І. А.¹, Демидова О. О.²

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури
03680, Київ, Повітрофлотський пр.-т, 31

E-mail: ¹inna.shatrova@gmail.com, ²demeleenn@gmail.com

Анотація. У статті розглянуто основні напрями оптимізації процесів у відновлювальному будівництві після руйнувань, спричинених надзвичайними ситуаціями. Проаналізовано логістичні моделі, можливості повторного використання будівельних матеріалів, екологічні аспекти та управління людськими ресурсами. Запропоновано підходи до ефективного планування та фінансування відновлювальних робіт. Результати дослідження свідчать про можливість скорочення термінів будівництва і зменшення витрат. Робота базується на аналізі українського та міжнародного досвіду.

Ключові слова: відновлювальне будівництво, оптимізація процесів, будівельні відходи, екологічна безпека, ВІМ-технології.

Внаслідок військової агресії на території України значна частина критичної житлової, соціальної та промислової інфраструктури зазнала суттєвих руйнувань. Відновлення цих об'єктів набуває критичного значення для забезпечення життєдіяльності населення, підтримки економічної стабільності і сприяння соціальному розвитку. Проте, процеси відбудови стикаються з низкою системних викликів, зокрема дефіцитом ресурсів, обмеженим фінансуванням, логістичними труднощами та необхідністю суворого дотримання екологічних стандартів. Як підкреслюється в [1], ефективне управління наявними ресурсами визнається ключовим чинником успішної реалізації будівельних проєктів в умовах наявних обмежень.

Оптимізаційні заходи зосереджені на п'яти ключових напрямках, а саме: оптимізація логістики та планування, переробка та повторне використання матеріалів, екологічна безпека, управління людськими ресурсами і фінансування та партнерство.

Розглянемо стисло всі ці п'ять напрямів.

1. Оптимізація логістики та планування. Впровадження BIM-технологій дозволяє здійснювати точне просторово-часове планування обсягів робіт, термінів та необхідних ресурсів. Використання ГІС забезпечує ефективний моніторинг стану пошкоджених об'єктів та оперативну координацію відновлювальних дій. Окрім цього, критично важливим є оптимізація маршрутів доставки матеріалів та техніки з урахуванням поточного стану дорожньої інфраструктури та актуальних безпекових факторів.

2. Переробка та повторне використання матеріалів. Встановлено, що до 60 % будівельних відходів потенційно можуть бути перероблені та інтегровані у вторинне використання. Згідно з кваліфікаційною роботою [3], застосування мобільних установок для сортування та дроблення дає змогу суттєво зменшити витрати на транспортування та утилізацію.

3. Екологічна безпека. Цей напрям має на увазі, що реалізація системи контролю за екологічними ризиками на будівельних майданчиках є обов'язковою. Також екологічна безпека застосовує «зелені» технології: використовує енергоефективні матеріали і впроваджує водозберігаючі системи та інтеграцію сонячних панелей.

4. Управління людськими ресурсами. Залучення місцевих громад до процесу відбудови сприяє підвищенню рівня соціальної відповідальності та легітимності проєктів, а саме організація навчальних програм для будівельників з метою освоєння нових стандартів безпеки та інноваційних технологій та створення дієвих мотиваційних механізмів для працівників (бонуси, страхування, соціальні гарантії).

5. Фінансування та міжнародне партнерство. Тут необхідною є активізація співпраці з міжнародними організаціями (наприклад, Sintef, NOCON, USAID) для залучення прямих інвестицій, створення публічно-приватних партнерств для забезпечення реалізації довгострокових та великомасштабних проєктів і впровадження прозорих механізмів розподілу фінансових ресурсів та контролю за їх цільовим використанням.

Таким чином, можна зробити висновок, що оптимізація процесів у відновлювальному будівництві є ключовим фактором успішного відновлення України після руйнувань. Вона дозволяє не лише ефективно використовувати ресурси, а й створює передумови для сталого розвитку, екологічної безпеки та соціальної згуртованості.

Список використаних джерел

1. Оптимізація процесів та ресурсів в управлінні будівництвом // Економіка та розвиток. URL: <https://economdevelopment.in.ua/index.php/journal/article/download/1159/1111>

2. Kovalchuk, O., & Shvets, V. Basics of formalization of factors affecting the technology of restoration of building structures // ResearchGate, 2022. URL: <https://www.researchgate.net/publication/376748048>

3. Вдовиченко, І. Вдосконалення технологічних процесів в будівництві за рахунок ресурсної оптимізації : кваліфік. робота магістра / Запорізький національний університет, 2020. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/xmlui/handle/12345/1990?show=full>

4. Шатрова І. А., Демидова О. О. Оптимізація використання вторинних матеріалів у малоповерховому будівництві // Сучасні досягнення в науці та освіті : зб. пр. XX Міжнар. наук. конф., 18–25 верес. 2025 р., м. Нетанія (Ізраїль). Хмельницький : ХНУ, 2025. С. 105–108.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Лавріненко Л. І.¹, Афанасьєва Л. В.²

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури

пр. Повітряних Сил, 31, м. Київ, 03037, Україна

E-mail: ¹ludmila.lavrinenko@gmail.com

²afanasieva2709@gmail.com

Анотація. Показано, що будівельна галузь чинить суттєвий антропогенний тиск на довкілля та вимагає ширшого використання поновлюваних матеріалів, які зменшують виснаження ресурсів та вирішують низку енергетичних та екологічних проблем. Велика увага приділяється екологічним аспектам будівництва протягом усіх етапів життєвого циклу будівлі.

Ключові слова: екологічні характеристики, вуглецевий слід, бетон, дерев'яне будівництво, енергоефективність.

Будівництво є однією з галузей діяльності, що призводить до найбільш значних антропогенної впливів на навколишнє середовище. Такі впливи є результатом видобутку, переробки та виробництва будівельних матеріалів та компонентів. Це призводить до виснаження сировинних, енергетичних і водних ресурсів; втрати місць проживання; забруднення води та ґрунту; зниження якості повітря; та зміни клімату. Виробництво деяких найпоширеніших будівельних матеріалів, таких як бетон, сталь, скло та алюміній, викликає найбільше занепокоєння у спеціалістів [1]. В науковій спільноті зростає усвідомлення необхідності ширшого використання поновлюваних матеріалів, які зменшують виснаження ресурсів та вирішують низку енергетичних та екологічних проблем [2].

На будівельну галузь (будівництво та експлуатація) припадає близько 40 % світового споживання енергії, 25 % світового споживання води та близько 30 % викидів глобальних парникових газів [1]. Ці потреби в ресурсах і викиди призводять до негативного впливу на довкілля, а велика кількість зусиль спрямовується на поліпшення стану навколишнього середовища. Значні зусилля докладаються для зменшення впливу на навколишнє середовище в сфері експлуатації будівель. Проте менше уваги приділяється впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з виробництвом матеріалів та будівельною діяльністю. Виробничі процеси традиційних матеріалів, що використовуються в будівництві, таких як бетон, сталь та скло, щонайбільше пов'язані із споживанням сировини, енергії, води та викидами парникових газів. Наприклад, при виробництві цементу утворюється до 3 % світових викидів CO₂, що відносяться до діяльності людини [2].

Було досягнуто значних покращень щодо екологічних характеристик таких матеріалів, як бетон і сталь. Наприклад, заміна певної кількості сировини, що використовується для виробництва бетону, переробленим матеріалом знижує його вплив на навколишнє середовище.

Для порівняння в таблиці 1 наведені деякі усереднені показники вуглецевого сліду найпоширеніших будівельних матеріалів та конструкцій. Сучасні довідкові ресурси надають значення та виконують розрахунки еквівалентного викиду парникових газів та енерговитрат з урахуванням всіх етапів життєвого циклу будівлі включно з виробництвом, транспортуванням, монтажем, експлуатацією та утилізацією.

Вуглецевий слід – це загальна кількість парникових газів, що викидаються в атмосферу в процесі виробництва, використання та утилізації матеріалів чи продукції. У будівництві вуглецевий слід різних матеріалів є важливим аспектом, оскільки ця галузь є одним із найбільших джерел викидів CO₂. Важливо враховувати вуглецевий слід кожного будівельного матеріалу, щоб знизити вплив на клімат та допомогти у боротьбі зі зміною клімату.

1. **Бетон** – один з найпоширеніших будівельних матеріалів у світі. Однак його виробництво спричиняє значну кількість викидів вуглекислого газу, особливо через використання цементу, основного компонента бетону. Виробництво цементу потребує великих енерговитрат і пов'язане з викидами CO₂ через термічне розкладання вапняку. За даними деяких досліджень, виробництво 1 тонни бетону припадає до 0,9 т CO₂. Це робить бетон одним з найвуглецевіших матеріалів у будівництві. Втім, існують засоби зниження вуглецевого сліду бетону, такі як використання альтернативних матеріалів для цементу (наприклад, повітряного вапняку або кальцинованих глин), додавання до складу бетону

різних перероблених матеріалів (наприклад, склотари або відходів залізної руди) та перехід на більш енергоефективні технології виробництва.

Таблиця 1

**Орієнтовні показники вуглецевого сліду
для матеріалів та деяких видів конструкцій**

Матеріал	Вуглецевий слід*	Конструкція	Вуглецевий слід*
Сталь	0,7 – 3,0 кг CO ₂ е/кг	Залізобетонна плита перекриття	150–350 кг CO ₂ е/м ³
Бетон	0,08 – 0,9 кг CO ₂ е/кг	Колони монолітні	200–400 кг CO ₂ е/м ³
Цемент	0,8 – 2,0 кг CO ₂ е/кг	Фундамент стрічковий	200–350 кг CO ₂ е/м ³
Деревина суцільна**	–0,5 кг CO ₂ е/кг	Цегляна стіна (38 см)	120–200 кг CO ₂ е/м ²
Деревина клесна**	–0,6 ... +0,5 кг CO ₂ е/кг	Каркасна стіна дерев'яна	20–60 кг CO ₂ е/м ²
Керамічна цегла	0,25 – 1,0 кг CO ₂ е/кг	Стіна з газобетону (300–400 мм)	60–140 кг CO ₂ е/м ²
Силікатна цегла	0,07 – 0,15 кг CO ₂ е/кг	Металочерепиця	8–15кг CO ₂ е/м ²
Блоки газобетону	0,1 кг CO ₂ е/кг	Бітумна черепиця	4–8 кг CO ₂ е/м ²
Мінеральна вата	1,0 – 1,5 кг CO ₂ е/кг	Керамічна черепиця	12–20 кг CO ₂ е/м ²
Пінополістирол (EPS/XPS)	1,5 – 3 кг CO ₂ е/кг		
ППУ (спрей-піна)	3–8 кг CO ₂ е/кг		
Целюлозна вата	0,1 – 0,3 кг CO ₂ е/кг		
Будівельне скло	0,7 – 1,5 кг CO ₂ е/кг		
Склопакет	2,0–4,0 кг CO ₂ е/кг		
*Вуглецевий слід еквівалентний CO ₂ е включає вплив в т.ч. інших парникових газів; **деревина може мати негативний вуглецевий слід через збереження CO ₂ , поглинутого деревом			

2. Сталь. Виробництво сталі також пов'язане із високими викидами CO₂. Сталь виробляється у доменних печах з використанням коксу та вугілля, що сприяє емісії вуглекислого газу. Однак, на відміну від

бетону, сталь має відмінні механічні властивості та довговічність, що може компенсувати її високий вуглецевий слід у довгостроковій перспективі. Виробництво 1 т сталі може призвести до викиду до 1,8 т CO₂, що робить цей матеріал ще більш вуглецевим, ніж бетон. Важливо відзначити, що вуглецевий слід можна значно знизити з використанням низьковуглецевих технологій, таких як водневе виробництво або переробка металобрухту.

3. **Деревина**, на відміну від бетону і сталі, є більш екологічним матеріалом, оскільки дерева, що ростуть, поглинають вуглекислий газ з атмосфери, тим самим допомагаючи в боротьбі зі зміною клімату. Більше того, деревина є відновлюваним ресурсом, якщо його видобуток здійснюється у рамках сталого лісівництва. Хоча заготівля деревини та її обробка вимагають енергії, вуглецевий слід деревини значно нижчий порівняно з бетоном та сталлю. Вуглецевий слід деревини з розрахунку на 1 м³ матеріалу становить близько 0,1–0,3 т CO₂. Важливо, що деревина продовжує зберігати вуглець навіть після використання у будівництві, що робить її вуглецево-нейтральним матеріалом, якщо вона не розкладається або не спалюється. Крім того, деревина має хороші теплоізоляційні властивості, що знижує потребу в опаленні та охолодженні будівель, а отже, сприяє скороченню викидів парникових газів у майбутньому.

4. **Цегла**. Виробництво цегли потребує значних енерговитрат, оскільки процес їх випалу здійснюється за високих температур. Втім, цегла залишається досить поширеним матеріалом завдяки своїй довговічності та здатності до терморегуляції. Для виробництва 1 тонни цегли викидається близько 0,3–0,5 т CO₂. Це робить цеглу менш вуглецевою, ніж бетон і сталь, але все одно робить певний внесок у загальний вуглецевий слід будівельних матеріалів.

5. **Скло**. Виробництво скла пов'язане з плавленням піску та інших компонентів за високих температур, що потребує багато енергії. Однак, скло є одним із матеріалів, які можна переробляти нескінченно, що значно знижує його вуглецевий слід у довгостроковій перспективі.

Вуглецевий слід скла: для виробництва 1 тонн скла викидається близько 0,5–0,7 т CO₂. Важливо відзначити, що переробка скла знижує викиди CO₂, оскільки потребує менше енергії, ніж виробництво нового скла.

У сучасному будівництві вуглецевий слід матеріалів є важливим фактором, який необхідно враховувати під час виборів будівельних компонентів. Деревина, завдяки своїм відновлюваним і вуглецево нейтральним властивостям, є одним із екологічно чистих матеріалів. Однак для зниження вуглецевого сліду будівельних об'єктів необхідно прагнути комбінованого підходу, що використовує більш стійкі матеріали,

такі як перероблені компоненти або інноваційні технології. У той час як бетон, сталь та цегла залишаються популярними матеріалами, важливо розвивати та впроваджувати екологічні альтернативи, щоб мінімізувати їх вплив на навколишнє середовище.

Матеріали на основі целюлози, такі як деревина, є альтернативними при використанні у будівництві. Хоча деревина використовувалася у будівництві протягом багатьох століть, останнім часом спостерігається відродження використання деревини як заміна традиційних бетонних і сталевих конструкцій, особливо у відповідь на екологічні виклики.

Масове дерев'яне будівництво розглядається як потенційно життєздатна альтернатива для вирішення цих проблем, що водночас відповідає вимогам до сучасних будівель, таким як збільшення прольотів і висот споруд, швидкості їх будівництва та забезпечення вогнестійкості. Багато досліджень присвячені характеристикам цього матеріалу та вогнестійкості складних елементів та вузлів [3,4]. З точки зору екологічних вимог використання конструктивних форм дерев'яних конструкцій має вирішальне значення, оскільки це вважається однією основних переваг деревини.

Дослідження [5] встановлює основу оцінки екологічних переваг дерев'яного будівництва. Його ціль полягає в тому, щоб забезпечити оптимізований підхід, який дозволяє ключовим зацікавленим сторонам будівельного проекту оцінити потенціал деревини для забезпечення екологічних переваг порівняно з традиційними методами будівництва в конкретному будівельному проекті. У наукових та практичних роботах в Україні широко застосовують інструмент LCA на основі ISO 14040/14044 Екологічна декларація продукту для аналізу будівель і матеріалів. Цей документ орієнтований на повний життєвий цикл споруди та реальну екологію.

Україна як держава з великими лісовими ресурсами приділяє значну увагу до екологічної безпеки у будівництві та, особливим чином, до застосування деревини в будівельних конструкціях. Екологічні стандарти і регламенти у цій галузі мають за мету зменшення впливів на навколишнє середовище, підвищення енергоефективності та охорону здоров'я людей.

За основу екологічного регулювання використання деревини є законодавство та Лісовий кодекс України, якими передбачається стійке лісовикористання, контроль за незаконним вирубуванням лісів та програми відновлення лісів. Використання деревини підтримує місцеву економіку, створюючи робочі місця в лісовій та деревообробній промисловості. Це сприяє розвитку стійких економік, де враховуються екологічні, соціальні та економічні фактори.

До того ж, переробка деревини та виробництво виробів з неї потребує менших витрат на транспортування, що зменшує викиди CO₂, пов'язані з логістикою. Чинні будівельні норми та правила визначають вимоги до екологічної безпеки під час використання деревини. Ці норми регулюють як якість самих будівельних матеріалів, так і їх вплив на довкілля у процесі експлуатації. Одним із способів сертифікації є отримання «зеленого» сертифікату, що підтверджує відповідність будівлі міжнародним стандартам екологічної безпеки.

У цій галузі визначальними є наступні аспекти.

Сертифікація деревини. Одним із основних стандартів деревини є сертифікація деревини за міжнародною системою FSC (Forest Stewardship Council) та PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification). Ці сертифікати гарантують, що деревина, яка використовується у будівництві, надходить з лісів, керованих відповідно до екологічних, соціальних та економічних стандартів. Це включає в себе:

- збереження біологічної різноманітності;
- запобігання вирубці лісів, які не відновлюються;
- дотримання прав місцевих спільнот та корінних народів.

Вимоги до екологічно чистих матеріалів. Згідно з екологічними стандартами, при виготовленні дерев'яних конструкцій мають використовуватися сертифіковані матеріали, що відповідають міжнародним екологічним вимогам.

Чинні в Україні норми проектування, що регулюють застосування дерев'яних конструкцій, зокрема ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення», ДБН В.2.2-15:2019 «Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення», визначають вимоги до проектування, виготовлення та монтажу дерев'яних конструкцій. В Україні існує тенденція до використання екологічно чистих матеріалів, тому будівельні стандарти включають вимоги до використання природних антисептиків та засобів обробки деревини, що мінімізують вплив на здоров'я людей та навколишнє середовище (наприклад, обробка деревини природними оліями, антисептиками на водній основі та іншими безпечними речовинами). Використання екологічно чистих антисептиків та захисних покриттів допомагає запобігти забрудненню екосистем та гарантує довговічність дерев'яних конструкцій.

Існують міжнародні екологічні стандарти для обробки деревини, які регулюють використання хімічних засобів та їх вплив на довкілля. Серед них: EN 335 – класифікація деревини за стійкістю до впливу біологічних факторів, таких як грибки та комахи, EN 350 – стандарти щодо довговічності та класифікації деревних матеріалів за їх термінами служби у різних кліматичних умовах.

Все частіше в Україні в будівництві дерев'яних будівель використовуються екологічно чисті покриття та оздоблювальні матеріали. Наприклад, для обробки фасадів або внутрішнього оздоблення застосовуються екологічно безпечні лаки, фарби та покриття на водній основі, що сприяє покращенню екологічних умов експлуатації.

Енергетична ефективність. Деревина – ефективний утеплювач, який може істотно знизити потребу в енергоємних опалювальних системах. У зв'язку з цим багато уваги приділяється стандартизації тепло-технічних характеристик дерев'яних конструкцій. У Європі для цього використовується низка нормативних документів:

- EN ISO 13789 – стандарт, що регулює розрахунок тепловтрат через будівельні елементи, у тому числі через дерев'яні конструкції;

- Passive House Standard – стандарт для енергоефективних будівель, який розглядає деревину як основний будівельний матеріал.

Ці стандарти сприяють підвищенню енергоефективності будівель та зниженню їх впливу на кліматичні зміни. Будівництво дерев'яних будинків в Україні стає все популярнішим завдяки високій теплоізоляції деревини. Відповідно до будівельних норм України ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» дерев'яні конструкції повинні забезпечувати необхідні теплоізоляційні властивості та мінімізувати тепловтрати, що сприяє зменшенню вуглецевого сліду.

Використання переробленої деревини і утилізація відходів.

Одним з найважливіших принципів сталого будівництва є мінімізація відходів та шкідливих викидів, а також використання матеріалів, які можна переробити. Закони та стандарти, зокрема Закон України про охорону навколишнього середовища, встановлюють вимоги до скорочення викидів забруднюючих речовин у повітря та водні ресурси під час виробництва та обробки деревних матеріалів.

У рамках підвищення екологічності будівництва на території України активно розвиваються технології переробки деревини. Перероблена деревина (наприклад, OSB, фанера, ДСП) використовується як альтернатива первинній сировині, що знижує навантаження на лісові ресурси. Процес переробки деревини включає різні етапи, в т. ч. – повторне використання старих дерев'яних конструкцій або переробку деревних відходів в паливо і будівельні матеріали. Це дозволяє значно скоротити кількість відходів та зробити використання деревини більш циклічним.

У зв'язку з цим встановлені європейські стандарти, що регулюють збір, переробку та повторне використання деревних відходів:

- EN 14081 – стандарт, що регулює використання деревини, отриманої з перероблених матеріалів, як будівельні елементи;

– CEN/TC 338 – стандарти щодо деревних матеріалів, отриманих із вторинних джерел.

Одним з актуальних питань є правильна утилізація відходів деревини, що утворюються під час будівництва та експлуатації дерев'яних конструкцій. В Україні існує низка стандартів, що регулюють переробку деревних відходів, включаючи використання їх як паливо (пелети, брикети) або переробку в інші будівельні матеріали. Важливо, щоб цей процес був екологічно безпечним і не завдавав шкоди довкіллю.

Екологічні стандарти України у сфері деревини та дерев'яних конструкцій спрямовані на покращення якості життя, збереження природних ресурсів та мінімізацію негативного впливу на екологію. Це потребує комплексного підходу, включаючи стійке лісокористування, якісну переробку деревних відходів, впровадження інноваційних технологій та використання екологічно чистих матеріалів. Українські будівельні та екологічні стандарти допомагають підтримувати баланс між розвитком економіки та збереженням природи, роблячи дерев'яні конструкції більш популярними та безпечними для навколишнього середовища. Важливо зазначити, що в Україні активно розвивається екологічна свідомість, і будівельні компанії переважно орієнтуються на міжнародні екологічні стандарти, зокрема щодо використання сертифікованої деревини та екологічно чистих матеріалів.

Список використаних джерел

1. Gustavsson, L., & Sathre, R.(2006). Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment*, 41, 940–951.
- 2 Crawford, R., Bartak, E., Stephan, A., & Jensen, C. (2016) Evaluating the life cycle energy benefits of energy efficiency regulations for buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 435–451.
3. Nekora, V., Sidnei, S., Shnal, T., Nekora, O., Lavrinenko, L., & Pozdieiev, S.(2021). Thermal effect of a fire on a steel beam with corrugated wall with fireproof mineral-wool cladding. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 113, 24–32.
4. Лавріненко Л., Афанасьєва Л. Деякі аспекти проектування будівельних конструкцій відповідно до вимог вогнестійкості. Зб. пр. XIX Міжнар. конф. «Сучасні досягнення в науці та освіті», Ізраїль, Нетанія, 2024, с. 125–130.
5. Robert H., Crawford, X., & Cadorela, A.(2017). Framework for assessing the environmental benefits of mass timber construction. *Primosten, Croatia. Procedia Engineering*, 196, 838–846.

ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ ВИКОРИСТАННЯ ЛАНЦЮГОВОЇ ЛІНІЇ В ПРОЄКТУВАННІ БУДІВЕЛЬ

Безклубенко І. С.¹, Баліна О. І.², Буценко Ю. П.³, Мащенко А. О.⁴, Серпінська О. І.⁵

^{1,2,5}Київський національний університет будівництва і архітектури
03680, Київ, проспект Повітряних Сил, 31

³М. Київ, НТУ України «Київський політехнічний інститут» ім. І. Сікорського

⁴М. Варшава, Варшавський університет

Uniwersytet Warszawski Krakowskie Przedmieście 26/28, 00-927 Warszawa

E-mail: ¹i.bezklubenko@gmail.com, ²elena.i.balina@gmail.com

³armchairdoc@ukr.net

⁴mashchenko.nastya@gmail.com, ⁵o.serpinska@gmail.com.

У світі, де людина зводить свої споруди, ми часто шукаємо ідеальні геометричні форми. Проте найміцніші та найефективніші конструкції, які існують, були винайдені не людським розумом, а самою природою. Згадайте павутиння, вигнутий стовбур дерева чи витончений вигин пташиного крила. Усі вони підкоряються фундаментальним законам фізики, оптимізуючи співвідношення між міцністю та вагою.

Однією з найбільш елегантних та інженерно досконалих природних кривих є ланцюгова лінія, або катенарія. Це форма, яку набуває звичайний ланцюг, підвішений між двома точками. І саме вона, перевернута догори, стає ідеальною аркою, в якій сили розподіляються виключно через стиснення. Як влучно зауважив великий архітектор і прихильник органічної архітектури, Антоніо Гауді: «Ніхто не повинен намагатися виправити природу. Те, що ми повинні робити, – це імітувати її».

Саме наслідування цієї природної, математично довершеної кривої лежить в основі використання катенарії для створення архітектурних шедеврів, що поєднують виняткову міцність та неповторну естетику.

Ланцюгова лінія (лат. *catenaria* – ланцюг) — це крива, форму якої набуває ідеально гнучка, однорідна, нерозтяжна важка нитка або ланцюг, кінці якого закріплені та які висять під дією сили власної ваги в однорідному гравітаційному полі.

У прямокутній системі координат рівняння катенарії описується за допомогою гіперболічного косинуса:

$$y = a \cosh\left(\frac{x}{a}\right) = a \cdot \frac{e^{x/a} + e^{-x/a}}{2},$$

де y – вертикальна координата; x – горизонтальна координата; a – параметр, що визначається фізичними характеристиками ланцюга (горизонтальна складова натягу) і впливає на «плоскість» кривої.

Протягом тривалого часу катенарію помилково ототожнювали з параболою. Справжню природу кривої вперше визначили математики XVII ст., серед яких був Готфрід Вільгельм Лейбніц. Ключове інженерне відкриття належить Роберту Гуку, який сформулював принцип: «Яким є висячий ланцюг, такою має бути і перевернута арка» [1].

Актуальність використання ланцюгової лінії у сучасному проектуванні будівель та споруд визначається трьома ключовими факторами:

1. Конструктивна ефективність: катенарія є ідеальною формою для сил стиснення, забезпечуючи максимальну міцність при мінімізації згинальних моментів.

2. Економічність: ефективний розподіл сил дозволяє значно зменшити обсяги необхідних будівельних матеріалів, що важливо для сталого будівництва.

3. Естетика: органічна, елегантна форма надає спорудам виразності та унікального стилю.

Головною перевагою катенарії є її здатність до оптимального розподілу сил. У вільно підвішеному ланцюзі навантаження від власної ваги перетворюється на чистий натяг, спрямований уздовж кривої. Це ідеальна конструкція на розтяг. Коли катенарію перевернути, вона стає ідеальною формою для арки, що несе рівномірне вертикальне навантаження. У такій конструкції сили розподіляються виключно через стиснення (компресію) вздовж товщі арки [2].

Цей принцип гарантує, що лінія тиску збігається з геометричною віссю арки. Як наслідок, внутрішні сили, що спричиняють згинання або зсув, зведені до мінімуму. Це дозволяє використовувати матеріали (наприклад, камінь чи неармований бетон), які мають високу міцність на стиск, максимально ефективно.

Завдяки цій властивості катенарія широко застосовується при проектуванні будівель та в інженерії [3].

Найпоширенішим застосуванням катенарії є її інвертована форма, а саме катенарна арка, яка є ідеальною формою для опору стисненню, що дозволяє будувати тонші, легші та міцніші склепіння. Яскравим прикладом може слугувати архітектура Гауді: Колони та склепіння у багатьох його будівлях (Каса Міла, Крипта в Колонії Гюелль) є катенарними арками, що забезпечує їхню конструктивну цілісність [4].

В інженерії катенарні арки часто використовуються в будівництві промислових печей та тунелів, де потрібна максимальна стійкість до навантажень і температур [5].

Принцип катенарії поширюється і на тривимірні форми, створюючи оптимізовані оболонкові конструкції:

Арка «Ворота на Захід» (Gateway Arch): Монумент у Сент-Луїсі є видатним прикладом узагальненої (зваженої) катенарії. Його форма

була спроектована таким чином, щоб навантаження власної ваги розподілялося вздовж поверхні.

Використання катенарних або близьких до них форм дозволяє створювати легкі бетонні оболонки великих прольотів (наприклад, дахи виставкових центрів), які є надзвичайно жорсткими завдяки формі, а не масивності.

Пряма катенарія у своєму оригінальному вигляді (як лінія натягу) використовується у підвісних конструкціях.

По-перше, це підвісні мости та кабелі. Слід зауважити, що хоча несучі кабелі великих мостів, які несуть рівномірно розподілене по довжині полотно, більше наближені до параболи, чиста катенарія є їхньою теоретичною основою. Вона також ідеально описує форму несучих кабелів у простих підвісних системах [6, 7].

По-друге, це тентові конструкції: Криві ланцюгової лінії лежать в основі розрахунків форм для легких текстильних дахів та мембран, де натяг має бути рівномірно розподілений для забезпечення стійкості.

Отже, переваги використання катенарії наступні:

1. Надзвичайна конструктивна міцність: забезпечення стійкості завдяки роботі матеріалу на чисте стиснення.
2. Економічна ефективність матеріалів: можливість значного зменшення товщини склепін, що веде до суттєвої економії матеріалів і коштів.
3. Естетична та органічна привабливість: створення гармонійних форм, що імітують природні процеси.

Однак поряд з перевагами використання ланцюгової лінії слід звернути увагу на деякі обмеження її практичного застосування [8, 9].

По-перше, це виготовлення складної, нетипової та дорогої криволінійної опалубки для катенарних поверхонь, що призводить до складності будівництва.

По-друге, катенарна арка створює значні горизонтальні розпорні зусилля у своїх опорах, які вимагають компенсації за допомогою контрфорсів або тяг.

По-третє, ідеальна ефективність досягається лише за рівномірного навантаження. Нерівномірний розподіл може зсунути лінію тиску з осі арки, викликаючи згинальні моменти, тобто катенарна арка чутлива до нерівномірних навантажень.

Ланцюгова лінія (катенарія) – це набагато більше, ніж математична формула; це ідеальна геометрична форма, що є прямим втіленням фундаментальних законів фізики у конструктивній геометрії. Вона слугує основним інструментом інженера як ідеальна крива для стиснутих конструкцій (при перевертанні), оскільки забезпечує максимальну міцність при мінімальному використанні матеріалів, ефективно розподіляючи сили.

У сучасному світі, що прагне до ресурсозберігаючих, легких та високоміцних споруд, роль катенарії зростає. Інноваційні технології, як-от 3D-друк бетоном, роблять економічно вигідним створення цих ідеальних криволінійних форм без традиційної складної опалубки, відкриваючи нову еру для екологічної та естетично привабливої катенарної архітектури [10].

Таким чином, ланцюгова лінія є свідченням того, що найефективніші та найміцніші інженерні рішення криються у простих, природних формах, які необхідно зрозуміти та інтегрувати для створення архітектури майбутнього.

Список використаних джерел

1. Безклубенко І., Гетун Г. Ланцюгова лінія як оптимальна форма для стійких конструкцій. *Містобудування та територіальне планування*. Київ : КНУБА, 2025. № 90. С. 285–315. URL: <http://mtp.knuba.edu.ua/issue/archive> {in Ukrainian}.

2. Гетун Г. В., Безклубенко І. С., Баліна О. І., Буценко Ю. П. Принципи конструювання та особливості статистичного розрахунку арок. *Spatiol Development*. Київ : КНУБА, 2022 (1). 43–56. URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2022.1.43-55>. {in Ukrainian}.

3. Гетун Г. В., Безклубенко І. С., Соломін А. В. Аналіз та класифікація сучасних конструкцій великопрогонових покриттів будівель. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ : КНУБА, 2023. № 65. С. 216–225. URL: <http://archinform.knuba.edu.ua/issue/view/17525> {in Ukrainian}.

4. Гетун Г. В., Безклубенко І. С., Соломін А. В., Баліна О. І. Особливості об'ємно-планувальних рішень захисних споруд цивільного захисту. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ : КНУБА, 2023. № 67. С. 216–225. URL: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023./67.203-220> {in Ukrainian}.

5. Гетун Г. В., Колякова В. М., Соломін А. В., Безклубенко І. С. Особливості проектування сталевих сейсмостійких конструкцій висотних будівель. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. Київ : КНУБА, 2022. № 11. С. 18–31. URL: <https://DOI:10.32347/2522-4182/11/2022/18-31>

6. Getun G., Butsenko Y., Balina O., Bezklubenko I., Solomin A. Дифузійні процеси з накопичувальними характеристиками при експлуатації будівель. *Strength of materials and theory of structures*. – 2019. – Issue 102, p. 243–251. <https://DOI:10.32347/2410-2547, 2019.102.243-251>

7. Гетун Г. В., Колякова В. М., Соломін А. В., Безклубенко І. С. Конструктивні рішення вибухостійких будівель з приміщеннями ци-

вільного захисту. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. Київ : КНУБА, 2023. № 11. С. 41–50. URL: <https://DOI:10/32347/2522-4182/11/2022/18-31>

8. Безклубенко І. С., Гетун Г. В. Катенарія та її практичне застосування в будівництві. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ : КНУБА, 2025. № 109. С. 3–17. URL: <http://ageg.knuba.edu.ua/issue/archive> {in Ukrainian}.

9. Galina Getun, Iryna Bezklubenko, Vira Koliakova, Olena Balina. Індустріальний розвиток Києва у другій половині XIX ст. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. Київ : КНУБА, 2020. № 6. С. 22–33. DOI: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.22-33>. {in Ukrainian}.

10. Безклубенко І. С., Баліна О. І., Мащенко А. О. Катенарія в архітектурі: математика і краса ідеальної арки. *Зб. тез доп. Міжнародної науково-практичної конференції «Інтеграція науки, освіти, технологій і суспільного розвитку: стратегічні виклики та перспективи»*. Полтава, 30 жовт. 2025, С. 155–158. URL: <https://www.economics.in.ua/2025/10/30.html> {in Ukrainian}.

ОЦІНКА ВПЛИВУ КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ НА РОБОТУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

Афанасьєва Л. В.¹, Лаврінченко Л. І.²

Київський національний університет будівництва та архітектури

03680, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 31

E-mail: ¹afanasieva2709@gmail.com, ²ludmila.lavrinenko@gmail.com

Анотація. Наведені результати досліджень впливу корозійних пошкоджень на роботу згинальних залізобетонних елементів. Встановлений найбільший вплив корозії на якісні характеристики їх роботи – корозійні пошкодження бетонного перерізу та корозія стрижнів робочої арматури. За результатами чисельних досліджень дана оцінка їх залишкового ресурсу міцності, а також подальшої експлуатаційної придатності.

Ключові слова: корозія, пошкодження, корозія арматури, залізобетонний переріз, міцність.

Експлуатація залізобетонних конструкцій при тривалій дії навантаження, а також агресивного середовища може спричинити пошкодження конструкції і втрату її несучої здатності. Тому важливим аспектом визначення залишкової несучої здатності і відповідності вимогам подальшої експлуатації є дослідження впливу дефектів і пошкоджень на параметри статичної роботи залізобетонних елементів. Наслідком корозії для них можуть бути зменшення перерізів арматури та бетону, зни-

ження щеплення арматури з бетоном, розтріскування бетону під дією тиску від продуктів корозії арматури.

Результати попередніх досліджень [1–4, 6] свідчать про відсутність єдиного підходу щодо аналітичного опису корозійних процесів в бетоні, арматурі та залізобетонних конструкціях, а також щодо їх впливу на характер статичної роботи під навантаженням.

Натурні обстеження ушкоджених корозією елементів каркасу будівлі, що наведені на рис. 1, визначили необхідність оцінити їх залишкову міцність та оцінити вплив корозійних пошкоджень.



Рис. 1. Натурні обстеження конструкцій, ушкоджених корозією

Встановлено [1–3, 7], що найбільший вплив корозійних пошкоджень на якісні характеристики роботи залізобетонних елементів мають корозійні пошкодження бетонного перерізу та корозія стрижнів робочої арматури.

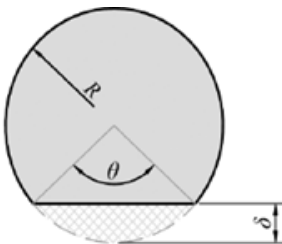


Рис. 2. Модель корозійного зносу:
 R – радіус арматурного стрижня;
 δ – глибина шару, ушкодженого корозією

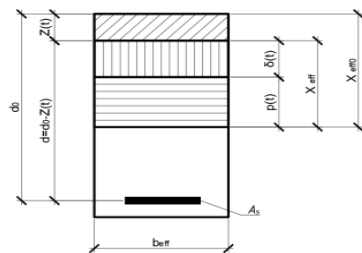


Рис. 3. Схеми поперечного перерізу дослідного згинального елемента

Прийнята модель корозійного зносу арматурної сталі в залізобетонних балках наведена на рис. 2. Схема поперечного перерізу дослідних моделей ригелей, що ушкоджені корозією, прийняти відповідно до рис. 3.

За результатами проведених досліджень [1] отримані діаграми « σ – ε » бетону з корозійними пошкодженнями. Встановлено, що для бетонів з корозійними пошкодженнями значення граничних деформацій, що відповідають призмовій міцності, в порівнянні з бетоном без пошкоджень менше на 18,0 % – для бетонів з розрахунковою міцністю на стиск $f_{cd} = 41 \text{ МПа}$, а для бетонів з $f_{cd} = 53,6 \text{ МПа}$ – на 11,8 %. Слід зазначити, що при збільшенні початкового навантаження термін, після якого досягнута текучість арматури, різко зменшується. При навантаженні $\leq 0,6M_u$ руйнування відбувається по стиснутій зоні внаслідок зменшення розмірів ушкодженого поперечного перерізу. Це призводить до збільшення відсотка армування, в цілому до переармування елемента і небезпеки крихкого руйнування за другим випадком по стиснутій зоні.

Для вирішення викладеної мети проведені чисельні дослідження з використанням обчислювального комплексу ЛІРА-САПР моделей збірних залізобетонних ригелей, що мають корозійні пошкодження.

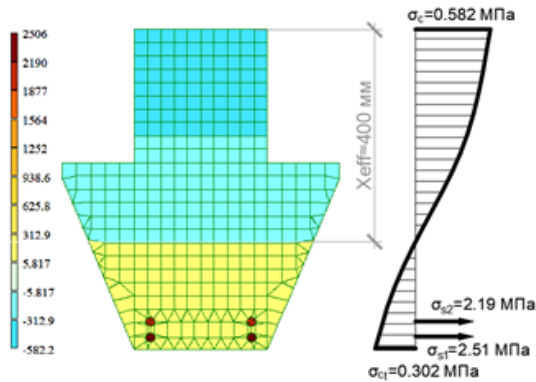
При розрахунку прийняті передумови: корозія поширюється рівномірно по всьому периметру арматурного стрижня, товщина корозійного шару становить 1,5 мм.

Схема поперечного перерізу дослідних моделей ригелей, що ушкоджені корозією, прийняти відповідно до рис. 3. За наявності корозійних пошкоджень бетонний переріз містить: $z(t)$ – ділянка повністю зруйнованого корозією стиснутого бетону; $\partial(t)$ – ділянка частково пошкодженого стиснутого бетону, $p(t)$ – ділянка непошкодженої частини стиснутого бетону, X_{eff} – висота стиснутої зони, d – робоча висота перерізу, η_s та η'_s – коефіцієнти, що враховують зміну міцності опору пошкодженої корозією арматури (див. рис. 2).

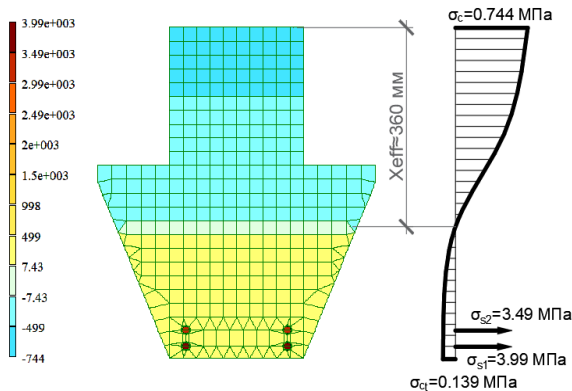
Таким чином, комплексна оцінка глибини корозії арматурних стрижнів (див. рис. 2), а також корозійне пошкодження бетонного перерізу (див. рис. 3) дає можливість визначити період експлуатаційної придатності конструкцій.

Наслідком корозійних впливів є деградація несучої здатності елементів конструкцій, створюючи небезпеку їх руйнування. Серед цих впливів значне місце належить хімічній корозійній агресії, при якій пошкодження матеріалу починаються на поверхні його контакту із зовнішнім середовищем, просуваючись вглиб, після чого пошкодження зменшуються і обнуляються.

На рис. 4 наведені результати розрахунку моделей ригелей-близнюків – звичайних і ушкоджених корозією. Чисельні дослідження балок виконані на дію розрахункового навантаження на перекриття, що дорівнює $5,8 \text{ кН/м}^2$, з урахуванням корозії арматури в розтягнутій зоні та бетонного перерізу з глибиною корозії $1,5 \text{ мм}$ (див. рис. 4). Порівняльний аналіз параметрів напружено-деформованого стану дослідних балок свідчить, що зменшення висоти стиснутої зони бетону становить до $10,0 \%$. В балках, ушкоджених корозією, зусилля розтягу в арматурі збільшились до $60,0 \%$.



а



б

Рис. 4. Результати розрахунку дослідних ригелей: без пошкоджень (а); з пошкодженнями бетону та арматури (б)

Прогини балок з дефектом збільшилися в 1,2 рази, при цьому його величина не перевищує допустиме значення, що регламентоване вимогами ДБН [5].

Таким чином, комбінація різних дефектів і пошкоджень підвищує варіативність факторів, що впливають на залишкову несучу здатність згинальних залізобетонних елементів. Пошкодження стиснутої зони перерізу загрожує крихким руйнуванням перерізу, що унеможливає безпечну експлуатацію конструкції.

Результати розрахунку дослідних балок наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку дослідних балок

№	Показник	Балка без корозійних пошкоджень.	Балка з корозійними пошкодженнями бетону та арматури глибиною 0,5 мм	Зміна кінцевого параметру порівняно із початковим, %.	Балка з корозійними пошкодженнями бетону та арматури глибиною 1,0 мм	Зміна кінцевого параметру порівняно із початковим, %.	Балка з корозійними пошкодженнями бетону та арматури глибиною 1,5 мм.	Зміна кінцевого параметру порівняно із початковим, %.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Напруження стиску бетону σ_c , МПа	0,582	0,724	24,4	0,733	25,9	0,744	27,8
2	Напруження розтягу бетону. σ_{ct} , МПа	0,302	0,2	51	0,171	76,6	0,139	122
3	Напруження розтягу арматури. σ_{s1} , МПа	2,51	3,66	45,8	3,81	51,8	3,99	58,9
4	Напруження розтягу арматури. σ_{s2} , МПа	2,19	3,2	46,1	3,35	53	3,49	59,3
5	Переміщення вздовж осі Z, мм.	0,152	0,183	20,4	0,186	22,4	0,188	23,7

Пошкодження стиснутої зони перерізу загрожує крихким руйнуванням перерізу, що унеможливає безпечну експлуатацію конструкції.

За результатами виконаних чисельних досліджень ушкоджених корозією ригелей встановлено, що корозійні пошкодження арматури та бетонного перерізу елемента суттєво впливають на експлуатаційні якості конструкцій..

Розрахунок залишкової міцності дефектних дослідних балок дозволяє оцінити корозійні процеси в бетоні та арматурі, визначити їх вплив на роботу конструкції, а також розробити підсилення для подальшої експлуатаційної придатності.

Список використаних джерел

1. Афанасьєва Л. В., Добровінська М. В. Вплив корозійних пошкоджень на експлуатаційні якості залізобетонних конструкцій. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. Київ : КНУБА. Вип. 6. 2020. С. 55–63.
2. Лавріненко Л. І. Технічний стан сталевих конструкцій. *Технічна експлуатація та реконструкція будівель*. Кам'янець-Подільський : Рута, 2018. С. 282–359.
3. Афанасьєва Л. В., Лавріненко Л. І. Особливості напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій, пошкоджених корозією. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр.* Рівне : НУВГП, 2023. Вип. 43. С. 91–98.
4. Афанасьєва Л. В. Щодо оцінки експлуатаційних якостей залізобетонних конструкцій, ушкоджених корозією. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку : тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.* Київ : КНУБА, 2023. С. 382–385.
5. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. – Мінрегіонбуд України. Київ, 2011. – 71 с. – Чинний з 01.06.2011.
6. Бліхарський З. Я., Лободанов М. М., Вегера П. І. Аналіз впливу основних видів дефектів та пошкоджень на несучу здатність залізобетонних елементів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва*, 2018, № 888. С. 93–100.
7. Lemaye R. G., Angal R. D., Raclke A. S. Experimental studies on penetrating-type corrosion inhibitor in reinforced concret –The Indian concret Jounal, N 1, 2000. – Pp. 22–26.

БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ 3D-ДРУКУ БУДІВЕЛЬ ТА БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ

Ковальчук Ю. І., Дудник В. П.

Київський національний університет будівництва і архітектури
просп. Повітряних Сил, 31, 03037, Київ, Україна

Анотація. У роботі проведений літературний аналіз сучасних світових досягнень в галузі 3D-друку будівель та будівельних компонентів. У матеріалах для 3D-друку з бетону використовують високі співвідношення цементу до піску, що призводить до надмірної міцності бетону на стиск та високих його витрат. У дослідженнях було зафіксовано кілька проблем, такі як тріщини в матеріалі 3D-друку, які були виявлені на другому і наступних шарах. Це може бути пов'язано з нерівною поверхнею попереднього шару. Також тріщини в затверділому бетоні можуть виникати через більшу усадку бетону через високий вміст цементу.

Ключові слова: 3D-друк, бетон, будівельні суміші, цемент.

Сучасні світові досягнення в галузі 3D-друку будівель та будівельних компонентів вражають. Технології 3D-друку, порівняно з традиційними методами зведення будівель, можна розглядати як екологічно чисту похідну, що дає практично необмежені можливості для реалізації геометричних форм різної складності. Ця технологія має переваги, такі як зниження витрат, часу, мінімізація забруднення навколишнього середовища, зменшення травматизму та ін.

На сьогодні актуальним для будівельної галузі є зменшення забруднення, пошук сталих методів і матеріалів для зменшення негативного впливу цієї галузі на навколишнє середовище. Для вирішення цих питань наукова спільнота докладає величезних зусиль у вивченні, розробці альтернативних будівельних матеріалів, які повинні хоча б частково замінити традиційні.

У перших будівельних роботах з використанням технології 3D-друк було використано термополімерний біомасовий матеріал [1]. Китайська компанія WinSun Decoration Design Engineering Co, яка розробила матеріал, схожий на бетоні і у 2014 р. їм вдалося побудувати будинки з використанням технології 3D-друку і розробленого бетону [2].

Цемент, який можна використовувати в 3D-принтері, повинен відповідати ряду вимог: бути екструдованим до прийнятного ступеня, щоб його можна було видалити з сопла принтера, мати достатні властивості пластичності, бути жорстким, щоб підтримувати інші шари без руйнування, і, нарешті, мати достатній час для збереження технологіч-

ної придатності [3]. Зусилля, спрямовані на досягнення всіх згаданих властивостей одночасно, дуже ускладнюють розробку розчину або бетонної суміші, придатної для 3D-друку.

Для 3D-друку найчастіше використовується портландцемент, але можуть додаватися й інші матеріали, такі як мікрокремнезем, летуча зола або вапно для поліпшення властивостей. Цьому питанню присвячені роботи [4–9]. На відміну від звичайного бетону, який містить щебінь, у 3D-друку використовується лише дрібний пісок. Це необхідно для того, щоб суміш легко проходила через сопло принтера, не забиваючи його. Вода активує цемент і робить суміш пластичною. Дуже важливо точно контролювати співвідношення води до цементу, щоб досягти необхідної консистенції для друку. Також до будівельної суміші входять різні хімічні добавки (модифікатори): Ці добавки відіграють ключову роль у технології 3D-друку бетоном [10]. Вони дозволяють регулювати властивості суміші. Наприклад, суперпластифікатори, такі як полікарбоксилати, лігносульфонати, меламіно-формальдегідні, нафталін-формальдегідні смоли зменшують кількість води, необхідну для текучості суміші, що збільшує її міцність.

Прискорювачі твердіння: гіпс, сульфат алюмінію ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), нітрат кальцію ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), гідроксид алюмінію ($\text{Al}(\text{OH})_3$), різноманітні лужні солі та рідке скло (силікати). Забезпечують швидке схоплювання бетону після нанесення, що дозволяє накладати наступні шари без руйнування попередніх. В роботах [11, 12] наведені результати дослідження стану та властивостей швидкотверднучих будівельних розчинів для зведення будівель способом 3D-друку.

Тіксотропні агенти: мікрокремнезем (кремнеземний дим, *Silica Fume*), глина, особливо бентонітова глина, метакаолін, поліетиленоксид або целюлоза. Всі ці компоненти надають суміші властивість зберігати форму, будучи при цьому достатньо текучою під тиском (під час екструзії). Тіксотропне структурне нарощування є невід'ємною властивістю свіжих цементних матеріалів, яка відіграє значну роль у здатності до перекачки, стабільності та заповненні опалубки бетоном, а також у придатності для 3D-друку. [13, 14]

У матеріалах для 3D-друку з бетону використовують високі співвідношення цементу до піску, що призводить до надмірної міцності бетону на стиск та високих витрат. У дослідженні, проведеному авторами [12], було зафіксовано кілька проблем, таких як незадовільний процес екструзії та тріщини в матеріалі 3D-друку. Тріщини, які виникають, були виявлені на другому шарі і послідовних шарах. Це може бути пов'язано з нерівною поверхнею попереднього шару. Тріщини в затвер-

ділому бетоні також можуть виникати через більшу усадку бетону через високий вміст цементу. У цьому дослідженні співвідношення цементу до піску було зменшено, щоб знизити вартість матеріалу. Для зменшення проблем з тріщинами використовували синтетичні мікрОВОлокна. Мета цього дослідження полягала у вивченні впливу співвідношення цементу до піску, максимального розміру часток піску та додавання синтетичних мікрОВОлокна на свіжий і твердий бетон. На сьогодні при виготовленні будівельних сумішей для 3Д друку широко використовуються різноманітні фіброволокна: поліпропіленові волокна, скловолокно, базальтові, вуглецеві волокна, кокосові. Крім того для підвищення міцності та стійкості до тріщин у суміш можуть додаватися полімерні, скляні або інші волокна. Вони забезпечують армування, допомагаючи бетону витримувати навантаження [15]. Вибір типу фіброволокна залежить від необхідних механічних властивостей, вартості та сумісності з іншими компонентами.

Усі компоненти будівельних сумішей для 3Д друку мають бути ретельно збалансовані, щоб отримати суміш, яка має одночасно високу текучість під час екструзії та швидке наростання міцності після нанесення. Інженери працюють над пошуком найкращих рецептур швидко-тверднучого бетону, який буде достатньо зручним для викачування з сопла принтера і матиме таку ж консистенцію, міцним, як залізобетон.

Наразі компанія «Хенкель» є розробником рецептур нових еко-бетонів. Так, з використанням саме його побудований перший житловий приватний будинок в Україні з використанням технології 3D-друку в м. Ірпінь (рис. 1).

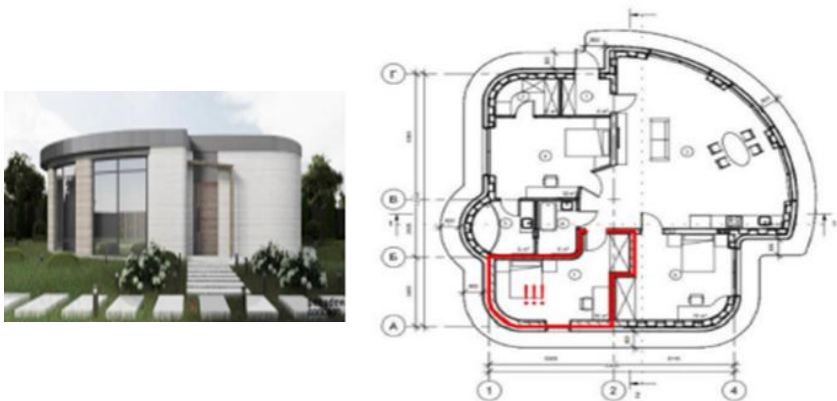


Рис. 1. Житловий будинок побудований за допомогою технології 3D-друку

Актуальним лишається питання розробки нових, унікальних хімічних добавок для 3D-друкованих будівельних систем, які задовольняють конкретні будівельні вимоги, зокрема: суперпластифікатори, модифікатори в'язкості та контролю гідратації цементу. Більшість дослідників, які вивчали цю тему, надали цінні пропозиції та висновки щодо компонентів, які складають зв'язуючу фазу (матрицю) сумішей для 3D-друку.

Список використаних джерел

1. 3D PRINT CANAL HOUSE, available from: <http://3dprintcanal/house.com/construction-technique>, (2016).
2. WISUN, available from: www.yhbm.com, (2016).
3. Wu, P.; Wang, J.; Wang, X. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Autom. Constr.* 2016, 68, 21–31.
4. Lukas H.J. Martin, Frank Winnefeld, Elsa Tschopp, Christian J. Мӓller, Barbara Lothenbach, Influence of fly ash on the hydration of calcium sulfoaluminate cement, *Cement and Concrete Research*, Volume 95, 2017, Pages 152–163, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.030>
5. Kayibanda Patrick, Richard Ocharo Onchiri, Geoffrey N. Mang'uriu / Developing Suitable Proportions for the Production of Pineapple Leaf Fibers Reinforced Normal Strength Concrete. *Open Journal of Civil Engineering*, Vol. 9. No. 3, July 9, 2019.
6. Ingaglio, J.; Fox, J.; Naito, C.J.; Bocchini, P. Material characteristics of binder jet 3D printed hydrated CSA cement with the addition of fine aggregates. *Constr. Build. Mater.* 2019, 206, 494–503.
7. Paul, S.C.; Tay, Y.W.D.; Panda, B.; Tan, M.J. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction. *Arch. Civ. Mech. Eng.* 2018, 18, 311–319.
8. Bos, F.; Wolfs, R.; Ahmed, Z.; Salet, T. Additive manufacturing of concrete in construction: Potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual Phys. Prototyp.* 2016, 11, 209–225.
9. Souza, M.T.; Ferreira, I.M.; Guzi de Moraes, E.; Senff, L.; Novaes de Oliveira, A.P. 3Dprinted concrete for large-scale buildings: An overview of rheology, printingparameters, chemical admixtures, reinforcements, and economic and environmentalprospects. *J. Build. Eng.* 2020, 32.
10. Manikandan, K.; Wi, K.; Zhang, X.; Wang, K.; Qin, H. Characterizing cement mixturesfor concrete 3D printing. *Manuf. Lett.* 2020, 24, 33–37.
11. Дворкін Л., Житковский, В., Степасюк, Ю., Марчук, В. Ефективні будівельні розчини для 3D-принтера // Будівельні матеріали та ви-

роби. 16–21. 10.48076/2413-9890.2020-101-03. DOI: 10.48076/2413-9890./2020-101-03/.

12. Antoni Antoni, Widjaya, David, Wibowo, Alexander, Chandra, Jimmy, Pamuda Pudjisuryadi, Hardjito, Djwantoro. (2022). Using Calcium Oxide and Accelerator to Control the Initial Setting Time of Mortar in 3D Concrete Printing. 2022, Lecture Notes in Civil Engineering Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials, p. 871–880.

13. Dengwu Jiao, Robin De Schryver, Caijun Shi, Geert De Schutter, Thixotropic structural build-up of cement-based materials: A state-of-the-art review, Cement and Concrete Composites, Volume 122, 2021, 104152, ISSN 0958–9465, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104152>.]

14. J. Assaad, K. H. Khayat, H. Mesbah Assessment of thixotropy of flowable and self-consolidating concrete / ACI Mater. J., 100 (2) (2003), pp. 99–107.

15. Yoo, D.-Y. and Yoon, Y.-S., 2016. A review on structural behavior, design, and application of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete. International Journal of Concrete Structures and Materials, 10 (2), 125–142. doi: 10.1007/s40069-016-0143-x.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МАРКЕТИНГУ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПАНІЙ

Демидова О. О¹., Шатрова І. А².

*^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури
03680, Київ, Повітрофлотський пр-т, 31*

E-mail: ¹demelenn@gmail.com, ²inna.shatrova@gmail.com

Анотація. У статті досліджуються роль та застосування штучного інтелекту (ШІ) у маркетингу будівельної галузі в умовах глобальної цифровізації та високої конкуренції. Аналізуються основні напрями використання штучного інтелекту в маркетингу будівельних компаній, визначаються його переваги і перешкоди на шляху впровадження, а також дається оцінка перспектив подальшого розвитку цієї технології у галузі.

Ключові слова: будівельна галузь, штучний інтелект, аналіз даних, генерація контенту, автоматизація комунікацій, цифровізація, маркетинг будівництва, персоналізація.

Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується активною цифровізацією усіх сфер діяльності, зокрема будівельної галузі. Одним із основних інструментів цифрової трансформації виступає

штучний інтелект (ШІ), який дедалі ширше застосовується не лише у проектуванні та автоматизації будівельних процесів, але й у маркетингових комунікаціях.

Умови високої конкуренції на ринку будівництва вимагають від компаній швидкого прийняття управлінських рішень, точного прогнозування попиту та ефективного використання рекламних ресурсів. Саме тут можливості ШІ стають критично важливими: він дозволяє працювати з великими масивами даних, автоматизувати рутинні процеси та формувати персоналізовані пропозиції для клієнтів.

Згідно з міжнародним опитуванням серед бізнес-лідерів та кваліфікованих працівників у США, Великій Британії, Німеччині, Австрії, Швейцарії, Франції та Японії, проведеним компанією Wrike, будівельна галузь все активніше впроваджує штучний інтелект: 32 % підприємств використовують його, а серед великих фірм цей показник подвоюється до 64 %. Впровадження ШІ призводить до значного підвищення продуктивності, заощаджуючи в середньому понад три години на тиждень та забезпечуючи понад 108000 доларів США річного приросту продуктивності на підприємство. ШІ використовується для адміністративних завдань (62 % фахівців), управління проектами (33 %), а також, що важливо, для продажів та маркетингової діяльності (55 % усіх фахівців, 37 % – у будівництві, 59 % – у дизайні), включаючи контент для соціальних мереж, рекламу та управління лідами [1].

Загальні тенденції цифрового маркетингу показують, що ШІ трансформує персоналізацію, автоматизацію та аналіз даних, причому рішення, керовані ШІ, очікується, будуть основою 70–75 % цифрових маркетингових стратегій до кінця 2025 року. ШІ еволюціонує від генерації контенту до оптимізації даних, хоча контент, створений людиною, все ще перевершує чисто генерований ШІ матеріал.

Згідно з опитуваннями серед представників українського бізнесу, 37 % українських компаній вже використовують інструменти ШІ, 27 % компаній, що використовують ШІ, відзначають суттєвий економічний ефект, 55 % опитаних працівників в Україні регулярно використовують ШІ в робочому процесі [2]. Але лише 4 % опитаних компаній, що використовують ШІ, представляли будівельну галузь. Це свідчить про те, що будівництво, порівняно з іншими секторами, ще не є лідером у впровадженні. Українські девелопери (забудовники) підтверджують використання ШІ для опрацювання даних, аналізу місцевості, маркетингу проєктів та спрощення рутинних завдань. За міжнародними даними, які цитувалися в Україні, успішність проєктів ШІ в будівельних компаніях становила близько 65 % – це був один з найнижчих показників серед усіх опитаних галузей, що вказувало на певні виклики у впро-

вадженні. Натомість, спостерігається загальна тенденція зростання використання ІІІ в українському бізнесі.

Штучний інтелект у маркетингу – це сукупність алгоритмів, технологій машинного навчання та аналітичних інструментів, які дозволяють автоматизувати процеси збору, обробки та інтерпретації інформації про споживачів [3]. Він виконує такі основні функції: аналітика даних для прогнозування споживчої поведінки; персоналізація контенту та рекламних повідомлень; оптимізація рекламних кампаній на основі реальних метрик ефективності; автоматизація комунікацій між компанією та клієнтом.

Для будівельної галузі, де цикл продажу є тривалим, а клієнти здійснюють складні рішення про інвестиції, використання ІІІ дає змогу скоротити час ухвалення рішення, підвищити рівень довіри та покращити взаємодію з потенційними покупцями.

Основні напрями використання штучного інтелекту в маркетингу будівництва наступні:

1. Прогнозування попиту та ринкових тенденцій. За допомогою алгоритмів машинного навчання маркетологи можуть аналізувати великі обсяги даних – економічні показники, сезонні коливання, поведінку споживачів у мережі. Це дозволяє точніше прогнозувати попит на житло, визначати перспективні райони для забудови та планувати маркетингові стратегії [4].

2. Персоналізовані рекламні кампанії. ІІІ-системи дозволяють створювати індивідуальні маркетингові повідомлення, що відповідають конкретним потребам клієнта. Наприклад, на основі історії пошуку чи відвідування сайту система може пропонувати користувачу варіанти квартир у відповідному ціновому сегменті та з потрібними характеристиками [5].

3. Автоматизація комунікацій. Важливою складовою сучасного маркетингу є використання чат-ботів і віртуальних асистентів, які забезпечують оперативний зв'язок із клієнтами. Такі системи здатні відповідати на запитання, проводити первинну консультацію, записувати на зустріч або демонстрацію об'єкта, що підвищує ефективність роботи відділу продажів.

4. Генерація контенту та візуалізація проєктів. Інструменти штучного інтелекту допомагають створювати реалістичні 3D-візуалізації, рекламні матеріали, тексти та відео для просування будівельних проєктів. Генераційні алгоритми дозволяють швидко адаптувати контент під різні платформи – від сайтів до соціальних мереж [6].

5. Аналіз поведінки клієнтів. Завдяки ІІІ маркетологи можуть відстежувати, які етапи «воронки продажів» викликають найбільші труд-

нощі у клієнтів, оптимізувати навігацію сайту, форми запитів, структуру рекламних повідомлень тощо. Це сприяє підвищенню конверсії і лояльності клієнтів.

Використання ІІІ в маркетингу будівництва дозволяє підвищити ефективність реклами за рахунок зменшення витрат на нерезультативні канали просування; швидше приймати рішення завдяки автоматичному аналізу даних; краще взаємодіяти з клієнтом через персоналізовані комунікації; покращити імідж компанії як інноваційний, технологічний бренд. Разом із тим, успішне впровадження ІІІ потребує надійної інфраструктури, високої якості даних і належного рівня грамотності персоналу.

Застосування ІІІ в будівельному маркетингу виходить за рамки базової автоматизації, щоб забезпечити гіперперсоналізацію та прийняття рішень на основі даних протягом усього шляху клієнта. Це може значно підвищити якість лідів та коефіцієнт конверсії. Загальні маркетингові можливості ІІІ (персоналізація, аналіз даних) у поєднанні з його специфічним використанням у продажах/маркетингу в будівництві (управління лідами, реклама) вказують на потужну синергію [7]. Це означає, що будівельні фірми можуть відійти від загального маркетингу до високоцільових кампаній, заснованих на даних про клієнтів та їхніх уподобаннях.

Зміна поведінки пошуку в бік оглядів, керованих ІІІ, та соціальних платформ вказує на необхідність адаптації SEO та контент-стратегій у будівельному маркетингу. Традиційний SEO змінюється пошуком, керованим ІІІ. Це означає, що будівельні компанії повинні оптимізувати контент не лише для ключових слів, але й для ІІІ-керованих резюме та розмовних запитів. Крім того, зростання соціальних платформ як основних інструментів пошуку для покоління Z вказує на потребу в надійних стратегіях маркетингу в соціальних мережах, включаючи контент, створений співробітниками (EGC), і розвиток спільнот.

У найближчі роки очікується посилення ролі ІІІ у цифрових екосистемах девелоперів. Ймовірно є розширення застосування предиктивної аналітики, віртуальної та доповненої реальності у презентації об'єктів, а також використання блокчейну для підвищення прозорості угод. Крім того, ІІІ допоможе створити розумні маркетингові платформи, що об'єднуюватимуть продаж, CRM-системи та аналітику в єдиному середовищі.

Таким чином, штучний інтелект стає невід'ємною частиною сучасного маркетингу в будівництві. Його використання забезпечує точне прогнозування попиту, персоналізацію взаємодії з клієнтами, зниження витрат на рекламу та підвищення ефективності продажів. Отже, інте-

грація технологій штучного інтелекту у маркетингові стратегії будівельних компаній є необхідною умовою їхньої конкурентоспроможності у цифрову епоху.

Список використаних джерел

1. The 2024 AI Productivity Report (Звіт про продуктивність ШІ 2024).
2. «Барометр Бізнесу» від Торгово-промислової палати України: вересень 2025. URL: <https://uccr.org.ua/barometr-biznesu/zvit-barometr-biznesu-za-veresen-2025>
3. Kotler P., Keller K. Marketing Management. – 16th ed. – Pearson, 2022.
4. Lee I. *Artificial Intelligence in Marketing: Applications and Challenges*. Business Horizons, 2021.
5. Бондаренко О. Штучний інтелект у цифровому маркетингу: тенденції та перспективи. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2023. № 2.
6. Єфименко І. Використання генеративних технологій у рекламі будівельних компаній. *Економіка та суспільство*. 2024. № 5.
7. Демидова О. О., Шатрова І. А. Застосування цифрових каналів комунікації для просування будівельних послуг та об'єктів. *Сучасні досягнення в науці та освіті : зб. пр. XX Міжнар. наук. конф.*, 18–25 верес. 2025 р., м. Нетанія (Ізраїль). Хмельницький : ХНУ, 2025. С. 100–105.

ПАРАДИГМА «АУГМЕНТОВАНОГО ІНЖЕНЕРА»: НАВІГАЦІЯ РИЗИКАМИ ТА ІНФРАСТРУКТУРНИМИ РОЗРИВАМИ В ЕПОХУ ШІ

Гетун С. Ю.¹, Гетун Г. В.², Соломін А. В.³

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури
03680, Київ, проспект Повітряних Сил, 31

³м. Київ, НТУ України «Київський політехнічний інститут» ім. І.Сікорського
E-mail: ¹hetun_sy_2024@knuba.edu.ua, ²galinagetun@ukr.net, ³a.solomin@kpi.ua

Анотація. У роботі розглянуто проблематику впровадження штучного інтелекту (ШІ) у будівельну галузь. Аргументовано, що інтеграція ШІ у високоризикові інженерні задачі стримується не стільки технологічною незрілістю, скільки інфраструктурними бар'єрами та когнітивними ризиками. Проаналізовано інфраструктурний розрив між ІТ-сектором та галуззю АІБ (архітектура, інженерія, будівництво), що зумовлений «файлоцентричною» природою інженерних даних. Визначено феномен «подвійної небезпеки» (Dual Peril), що виникає внаслідок синергії алгоритмічних помилок ШІ та людського упередження автоматизації. Обґрунтовано доцільність переходу до парадигми Аугментації Інтелекту (ІА) та запропоновано модель «Аугментованого Інженера», що передбачає зміщення акценту з безпосереднього виконання на нагляд, верифікацію та системну інтеграцію.

Ключові слова: штучний інтелект, аугментований інженер, ІА, AGI, ризики ШІ, упередження автоматизації, BIM, FEA, інженерна освіта, проблема довгого хвоста.

Вступ. Потенціал ШІ в інженерії є беззаперечним. Сучасні дослідження, включно з доробком авторів, демонструють зокрема виняткову ефективність «сурогатних моделей» на основі нейронних мереж для прискорення обчислювально містких завдань, таких як аналіз методом скінченних елементів (МСЕ). Здатність моделей майже миттєво передбачати напружено-деформований стан дозволяє реалізовувати оптимізаційні цикли, що охоплюють мільйони варіантів, що раніше було технічно неможливим [1, 2]. На тлі цих успіхів сучасний рівень розвитку технологій дедалі частіше інтерпретується як впевнений рух до повної автоматизації або Загального штучного інтелекту (AGI) – стану, коли

алгоритми здатні замінити людину в будь-якій економічно значущій діяльності.

Водночас у професійному дискурсі існує певна термінологічна невизначеність. Слід чітко розмежовувати три парадигми, які часто отожднюють [2, 8, 9]. Перша – це генеративний дизайн (*GD*), який базується на алгоритмічній оптимізації (наприклад, топологічній) для дослідження проектного простору. Друга – генеративний ШІ (*GenAI*), орієнтований на створення контенту з мультимодальних запитів. Третя, найбільш актуальна для інженерної практики парадигма, – це ШІ в аналізі, що забезпечує зокрема створення сурогатних моделей. Втім, повноцінне впровадження останньої стикається з фундаментальними перешкодами, які вже подолані в інших технологічних секторах.

Системні виклики та засади формування моделі аугментованого інженера. Суттєвою перешкодою для впровадження ШІ у будівництві є фундаментальна відмінність його екосистеми від ІТ-сектору, який наразі виступає технологічним еталоном автоматизації. Інтеграція ШІ в індустрію розробки програмного забезпечення відбувається майже безшовно завдяки зрілій інфраструктурі. ІТ-сектор є «дата-центричним»: джерелом істини тут виступає текст (вихідний код), керований системами контролю версій, що дозволяє гранулярне порівняння та злиття даних [10]. На противагу цьому, галузь АІБ залишається переважно «файло-центричною». Джерелом істини тут є складні пропріетарні бінарні файли (наприклад, .rvt, .dwg), які фактично є ізольованими базами даних. Така архітектура створює хронічний бар'єр інтероперабельності. Внаслідок цього, якщо ІТ-сектор вже фокусується на надійності вихідних результатів ШІ, будівельна галузь все ще змушена вирішувати проблеми вхідних даних, інтеграції та браку відповідних навичок у фахівців [10].

Окрім інфраструктурних бар'єрів, ключовим викликом впровадження ШІ у критичних галузях є явище, яке ми класифікуємо як «Подвійна небезпека» (*Dual Peril*) [3]. Вона виникає через поєднання алгоритмічної помилковості та когнітивного збою людини. З одного боку, складні ШІ, зокрема великі мовні моделі, схильні до «галюцинацій» – генерування правдоподібних, але хибних відповідей. З іншого боку, інженери піддаються «упередженню автоматизації» (*Automation Bias*) – психологічній тенденції надмірно довіряти швидким та впевненим відповідям автоматизованих систем. Ці фактори мають мультиплікативний ефект: впевнений тон ШІ активує упередження автоматизації, спонукаючи інженера-верифікатора до прийняття хибного рішення. Дослідження свідчать, що найбільш вразливими до цього є фахівці середнього рівня кваліфікації [4].

Слід також враховувати, що прагнення до повної автоматизації (AGI) в інженерії ігнорує дві фундаментальні межі: технічну та юридичну. Технічна межа окреслюється «проблемою довгого хвоста» (*Long-Tail Problem*). ШІ, навчений на історичних даних, не здатний надійно обробляти унікальні події, які в будівництві є нормою (нестандартні навантаження, специфічні ґрунтові умови тощо) [5]. Юридична межа полягає у відсутності чіткої доктрини відповідальності за збитки, спричинені помилкою ШІ [6]. Оскільки розробники захищені ліцензійними угодами, ризики лягають на користувача. До впровадження режиму «суворої відповідальності» автономне прийняття рішень системами AGI залишається неможливим.

З огляду на зазначені ризики, ми пропонуємо змістити фокус з пошуку загального ШІ (AGI) на впровадження парадигми Аугментації Інтелекту (IA). У цій моделі ШІ виступає не як фінальний арбітр, а як потужний асистент, що надає пропозиції, а не остаточні відповіді. Інженер залишається в центрі процесу, використовуючи власний досвід для верифікації. Цей підхід узгоджується зі стратегіями провідних вендорів, таких як Autodesk та Ansys, які розвивають хмарні платформи та API для створення інструментів, що розширюють можливості інженера, а не замінюють його [10].

Реалізація цієї моделі та ідентифіковані виклики диктують необхідність трансформації професійного профілю фахівця. Для ефективної роботи в парадигмі IA інженер повинен опанувати нові ролі. По-перше, стати «верифікатором на основі перших принципів», здатним миттєво розпізнати порушення фундаментальних фізичних законів у результатах генерації ШІ, долаючи «подвійну небезпеку» [3, 4]. По-друге, трансформуватися у «системного інтегратора», який замість володіння лише графічним інтерфейсом одного пакету, здатний поєднувати API різних систем через код (наприклад, Python) [10]. По-третє, виступати «архітектором задачі», проєктуючи простір рішень та декомпозуючи складні конструкції для аналізу ШІ-агентами. Для виховання цих компетенцій необхідні зміни в освіті та індустрії. Навчальні плани мають включати програмування та роботу з API як наскрізні дисципліни, а також курси з етики ШІ та управління ризиками, подібні до програм MIT [7]. Компаніям слід інвестувати у внутрішні R&D та перехід до дата-центричних процесів вже зараз. Для самого інженера ключовою стає когнітивна гнучкість — здатність швидко навчатися та інтегрувати нові інструменти у робочий процес верифікації.

Висновки. Повна автоматизація інженерної діяльності у критично важливих галузях є передчасною через інфраструктурні розриви, когнітивні ризики та юридичну невизначеність. Найближче десятиліття

стане ерою «Аугментованого Інженера» (ІА), де ІІІ функціонуватиме як співпроцесор. Успіх у цій реальності залежатиме від здатності інженерної спільноти переосмислити процеси верифікації та реформувати освіту відповідно до нових вимог.

Список використаних джерел

1. Getun, S., Ivanchenko, H., Getun, Skliarov I., Solomin, A. (2025). Application of surrogate models based on neural networks for fast optimization of reinforced concrete frame structures. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 115, 3–13. DOI: 10.32347/2410-2547.2025.115.3-10.
2. Getun, S., Ivanchenko, H., Botvinovska, S., Getun, G., Solomin, A. (2025). Optimization of structural computational models using neural networks: a systematic review of current approaches and prospects. *Applied geometry and engineering graphics*, 108, 72–96. DOI: 10.32347/0131-579X.2025.108.72-96.
3. Helal, M. Y. I., Elgendy, I. A., Albashrawi, M. A., Dwivedi, Y. K., Al-Ahmadi, M. S., Jeon, I. (2025). The impact of generative AI on critical thinking skills: a systematic review, conceptual framework and future research directions. *Information Discovery and Delivery*, (ahead-of-print). DOI: 10.1108/IDD-05-2025-0125.
4. Horowitz, M. C., Kahn, L. (2024). Bending the automation bias curve: a study of human and AI-based decision making in national security contexts. *International Studies Quarterly*, 68(2), sqae020. DOI: 10.1093/isq/sqae020
5. Dagan, E. (n.d.). Solving the long-tail with e2e AI: “The revolution will not be supervised”. *Wayve*. URL: <https://wayve.ai/thinking/e2e-embodied-ai-solves-the-long-tail/> (дата звернення: 11.11.2025).
6. Soyer, B., Tettenborn, A. (2022). Artificial intelligence and civil liability – do we need a new regime? *International Journal of Law and Information Technology*, 30(4), 385–397. DOI: 10.1093/ijlit/eaad001.
7. MIT EECS. (2024). *Bachelor of Science in Artificial Intelligence and Decision Making (Course 6–4) degree chart*. URL: <https://catalog.mit.edu/degree-charts/artificial-intelligence-decision-making-course-6-4/> (дата звернення: 11.11.2025).
8. Yan, S., Wu, C., Zhang, Y. (2025). Generative design for architectural spatial layouts: a review of technical approaches. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1–21. DOI: 10.1080/13467581./ 2025.2512235.
9. Daareyni, A., Martikkala, A., Mokhtarian, H., Flores Ituarte, I. (2025). Generative AI meets CAD: Enhancing engineering design to manufacturing processes with large language models. *The International*

Journal of Advanced Manufacturing Technology. DOI: 10.1007/s00170-025-15830-2.

10. Li, Y., Zhao, Q., Yang, M., Ma, Z., Hei, X. (2025). Advancements and applications of industry foundation classes standards in engineering: a comprehensive review. *Buildings*, 15, 2927. DOI: 10.3390/buildings15162927.

ЗАЛУЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕС МОНІТОРИНГУ ДИНАМІКИ КОРИСТУВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСАМИ

Забарило П. О.¹, Забарило О. В.², Коротких Ю. А.³, Плоский В. О.⁴
Київський національний університет будівництва та архітектури
просп. Повітряних Сил, 31; Київ, Україна

E-mail: ¹zabarylo_po-2023@knuba.edu.ua, ²zabarylo.ov@knuba.edu.ua
³korotkykh.iua@knuba.edu.ua, ⁴ploskyi.vo@knuba.edu.ua

Анотація. Надано стислий опис загального стану систем енергопостачання в Україні та змальовано основні перспективи їх подальшого розвитку в контексті енергоефективності та залучення відновлювальних джерел енергогенерації. Обґрунтовано необхідність залучення більш раціональних та ефективних підходів до їх управління. Розглянуто переваги нейронних мереж як одного із найефективніших інструментів менеджменту комплексними системами. Дано їх найбільш поширену класифікацію та уточнено сфери енергетичного сектору, де їх залучення буде найбільш доцільним. Змальовано подальші перспективи майбутніх досліджень в цьому напрямку.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, перцептрон, енергоефективність, енергосистеми, нейромережі.

Системи електропостачання в Україні, взявши курс на енергоефективність, сьогодні перепрофілюються на комбіновані структури, що мають централізовану та автономну частини живлення. У зв'язку з поширенням використання альтернативних джерел енергії, в т.ч як автономних видів в комплексі централізованих систем живлення, нагальною стає проблема прогнозування електроенергетичних параметрів на тлі багатофакторних умов роботи, адже результати прогнозування є основою для формування ефективних управлінських рішень. Сьогодні сфера енергопостачання потребує контролю з боку людини, проте велика кількість чинників, які впливають на показники, не дає змоги ефективно і точно опрацювати отримані дані. Розроблення засобів прогнозування передбачає накопичення інформації, аналіз, виявлення закономірностей та тенденції. Результатами прогнозування енергоефективності можна

використовувати для передбачення нових ситуацій та проблем, які потребують свого вирішення.

Оскільки у зв'язку з науково-технічним прогресом у промисловості впроваджуються новітні технології, що, в свою чергу, вимагає підвищення надійності та якості електропостачання, є актуальним напрям розвитку та вдосконалення систем прогнозування електроенергетичних параметрів на базі нейронних мереж.

Нейромережі – це математичні моделі, які імітують роботу людського мозку, дозволяючи машинам навчатися на основі даних. Вони можуть розпізнавати образи, обробляти мову, робити прогнози та багато іншого. Нейронна мережа є нелінійною системою, що дає змогу набагато краще класифікувати дані, ніж будь-які лінійні методи. Система на основі такого потужного механізму буде здатна отримувати результат, засновуючись на прихованих закономірностях. Найважливішою перевагою такої системи і відсутність необхідності її програмування – нейронна мережа «навчається» на основі величезної навчальної вибірки, що відрізняє її від експертної системи.

Використання такого підходу мотивується подібністю до успішно функціонуючих біологічних систем, які працюють у широкому масштабі паралельно і, що є їх безумовною перевагою, мають можливість вчитися. Одним із результатів процедури навчання є здатність нейронних мереж узагальнювати і асоціювати дані. Після успішного навчання нейронної мережі можна знайти адекватні рішення для аналогічних завдань одного і того ж класу, що не були очевидно визначені в процесі навчання. Це призводить до високого ступеня відмовостійкості за зміни вхідних даних. Прогнозування за допомогою нейронних мереж можна використовувати для пошуку аномальних значень або значень, які значно виділяються з потоку статистики.

Існує велике кількість розроблених нейромереж і вибір найбільш доцільної залежить від конкретної задачі, типу даних чи їх об'єму. Загалом нейронні мережі можна умовно поділити на мережі прямого розповсюдження та мережі зі зворотнім зв'язком.

До мереж прямого розповсюдження належать:

- Персептрон;
- MLP (багатосаровий персептрон);
- RBF-мережі;
- Мережі каскадної кореляції;
- ADALINE.

Мережі зі зворотнім зв'язком поділяють на:

- Зустрічного розповсюдження;

- SOM, мережі Кохонена;
- Мережі із асоціативною пам'яттю, мережі Хопфілда;
- Мережі Епмана;
- ART-мережі;
- Стохастичні мережі (машина Больцмана);
- Мережі Time Delay.

Для вирішення типових для ринку електроенергетики завдань найкраще за все підходять багатосаровий персептрон (задача прогнозування споживання енергії) та мережі Кохонена (задача побудови клієнтського профілю енергоспоживання).

Використання нейромереж може допомогти покращити ефективність використання ресурсів, що в свою чергу допоможе знизити витрати та зменшити негативний вплив на довкілля, сприяючи більш ефективному вирішенню багатьох задач сектору енергетики, таких як:

Управління енергосистемами. Наприклад, для аналізу даних, пов'язаних зі споживанням та виробництвом енергії, оптимізації процесів управління для підвищення ефективності та мінімізації витрат. Зокрема, нейромережі можуть автоматично контролювати виробництво енергії, керувати навантаженням та розподіленням енергію в мережі. З розвитком відновлюваної енергетики стає актуальним і питання її ефективного управління шляхом аналізу погодних умов, прогнозування виробництва енергії вітряками чи сонячними панелями.

Оптимізація виробництва електроенергії. Наприклад, шляхом прогнозування динаміки енергоспоживання через аналіз відповідних даних на різних рівнях (квартал, район, місто). На основі цього прогнозу нейромережі можуть виявляти неефективність обладнання, прогнозувати його відмову або, наприклад запропонувати рекомендації щодо оптимізації споживання енергії, такі як використання альтернативних джерел енергогенерації.

Прогнозування попиту на електроенергію. Один з ключових напрямків використання нейромереж – це прогнозування попиту на електроенергію. Завдяки аналізу великих обсягів даних нейромережі можуть передбачати пікові навантаження, зміни попиту залежно від пори року, дня тижня чи навіть часу доби.

У практичному застосуванні нейромережі на основі багатосарового персептрону залежно від поставленої задачі може використовуватися для прогнозування:

- короткострокового – від кількох годин до одного дня (що є критично важливим для оперативного управління енерго-системою);
- середньострокового – від одного дня до тижня (допомагає у плануванні закупівель енергоресурсів та управлінні резервами);

– довгострокове – від тижня до кількох місяців наперед (що необхідно для стратегічного планування та інвестиційних рішень).

Прикладом використання нейромереж в енергетиці є проект, створений Google DeepMind у співпраці з National Grid, британською компанією, що управляє енергосистемами. Цей проект використовує нейромережі для прогнозування споживання енергії наступного дня. На основі цього прогнозу National Grid може краще розподілити споживання енергії, що допомагає мінімізувати витрати і знижує навантаження на енергосистеми.

Нейромережі відкривають перед енергетикою нові горизонти. Вони роблять виробництво електроенергії більш ефективним, надійним та екологічно чистим. Завдяки їм ми можемо розраховувати на стабільне енергопостачання в майбутньому та захист нашої планети від негативного впливу людини.

Залучення такого різновиду інформаційних технологій це можливий базовий варіант розбудови структур систем інтелектуального керування і управління комбінованими видами систем електроспоживання. Їхнє застосування дозволить поліпшити якість управління електропостачанням різних промислових об'єктів, забезпечить багатофакторне прогнозування стану електроенергетичних параметрів складових систем електропостачання – автономних джерел живлення, що, в свою чергу, дозволить покращити прогнозованість генерованої потужності джерел енергії у часі.

Список використаних джерел

1. Жианчанг Мао, Енил Джейн Введення в штучні нейронні мережі : Відкриті системи. СУБД, № 4, Київ, 1997. 124 с.
2. Sledge I.J., Keller J.M. Growing neural gas for temporal clustering : 19th International Conference on Pattern Recognition. Tampa, Florida, USA : IEEE Computer Society, 2008. 84 p.
3. Сінчук О. М., Бойко С. М. Нейронні мережі і керування процесом управління електропостачанням об'єктів від комбінованих електричних мереж : Техн. електродинаміка. № 5 : Інститут електродинаміки НАН України, Київ, 2014. 55 с.
4. Карпа Д. М., Цмоць І. Г., Опотяк Ю. В. Нейромережеві засоби прогнозування споживання енергоресурсів : Науковий вісник НЛТУ України. Т. 28. № 5. Львів, 2018. 146 с.
5. Zabarilo P. O., Plosky V. O. The current state of Ukraine's alternative energy potential : Proceedings of the 3rd International Scientific

and Practical Conference "Green Construction" : Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, 2024 p. 448 p.

ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МАГІСТРАЛЬНИХ ВОДОГОНІВ

Защепкіна Н. М., Богдан Г. А., Богдан І. С.

НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

E-mail: nanic1604@gmail.com; bogdangalya@gmail.com; vbogdaivan@gmail.com

Анотація. У статті проаналізовано критичний стан водопровідних мереж України, значна частина яких (понад 180 тис. км) зношена та потребує діагностики через вичерпання ресурсу й високі ризики аварій. Метою роботи є дослідження факторів деградації трубопроводів, сучасних методів контролю та підходів до оцінювання їх залишкового ресурсу. Подано узагальнені дані про причини відмов та показано, що комплексна оцінка технічного стану потребує поєднання різних діагностичних технологій. Висвітлено неруйнівні методи контролю та доведено ефективність комбінованого підходу, який поєднує інлайн-інспекцію з багатосенсорними системами та локальні методи НК на складних ділянках.

Ключові слова: контроль, діагностика, неруйнівний контроль, залишковий ресурс, труби, водогін.

Стан водопровідних мереж України є критичним: 35 % систем водопостачання та 38 % водовідведення перебувають в аварійному стані, а втрати води перевищують 36 % [1]. Значна частина понад 180 тис. км трубопроводів була прокладена в радянський період, тому їх нормативний ресурс вичерпано, що різко підвищує ризик аварій та перебоїв водопостачання. Це зумовлює потребу у модернізації мереж, впровадженні сучасних методів діагностики та оцінюванні їх залишкового ресурсу [12].

Мета роботи – дослідити ключові фактори деградації водогонів та проаналізувати методи технічного контролю і діагностики. Системний аналіз цих чинників дає змогу своєчасно виявляти небезпечні ділянки, зменшувати втрати води й підвищувати надійність мереж.

Аналіз факторів впливу є ключовим для обґрунтованого вибору методів діагностики, визначення залишкового ресурсу трубопроводів та формування ефективної стратегії технічного обслуговування. Системна оцінка цих чинників дає змогу своєчасно виявляти потенційно небезпечні ділянки, зменшувати втрати води, підвищувати надійність мереж і оптимізувати витрати на їх експлуатацію та модернізацію.

До таких факторів належать:

1. Віковий знос та перевищення нормативного ресурсу – пошкодження труб відбувається через зниження механічних властивостей матеріалу, втомні руйнування, підвищення крихкості [3].

2. Корозія – одна з провідних причин пошкоджень металевих магістралей. Оглядові дослідження показують, що ґрунтові й електричні фактори істотно визначають швидкість корозійного зносу [4].

3. Гідравлічні фактори: удари тиску та режимні коливання – температура і технічні звіти відзначають значний вплив таких явищ на експлуатаційну надійність мереж [5].

4. Дефекти монтажу та неякісні матеріали – такі дефекти можуть проявитися через короткий час після монтажу або виявлятися поступово у вигляді підтікання в місцях з'єднань [6].

5. Механічні пошкодження від впливу зовнішніх факторів – механічні удари від екскаваторів, дорожньої техніки, будівництва, а також навантаження від руху ґрунту чи дорожнього полотна призводять до локальних деформацій, тріщин, переломів [7].

6. Вплив агресивних середовищ (хімічний склад води та ґрунту) – окремі дослідження показують тісний зв'язок між характеристиками ґрунту та зовнішньою корозією [8].

7. Мікробіологічні фактори (біообростання, МІС) – бактерії, що утворюють біоплівки, можуть сприяти локальній корозії (МІС) або виділяти біохімічні продукти, які пришвидшують руйнування матеріалу [4].

8. Кліматичні та геотехнічні фактори – перепади температур, сезонні промерзання, зсуви ґрунту й підмиви можуть призводити до додаткових навантажень, зміни опору ґрунту й, відповідно, до загострення корозійних процесів або механічних пошкоджень [6].

9. Операційні та організаційні фактори (недостатнє техобслуговування, фінансування).

10. Екстремальні та антропогенні фактори (вандалізм, бойові дії).

На рис. 1 зображено узагальнені глобальні дані щодо причин передчасних відмов водопровідних труб у системах водопостачання. Кругова діаграма демонструє розподіл частки пошкоджень труб за основними групами факторів.

Можна зробити висновок, що корозія є домінуючим фактором деградації трубопроводів. Частка 64 % свідчить про те, що більшість водопровідних мереж у світі виходять з ладу не через аварії чи зовнішні впливи, а через довготривалі корозійні процеси. Це означає, що проблеми якості матеріалів, захисних покриттів, агресивності ґрунтів та води мають ключове значення для надійності систем водопостачання.

Комплексна оцінка залишкового ресурсу та технічного стану магістральних водогонів передбачає застосування поєднання кількох груп діагностичних технологій. Жоден окремий метод не може пов-

ністю охопити всі типи дефектів, тому сучасні стандарти експлуатації водогосподарських систем орієнтуються на інтегральну діагностику, що включає інструментальні, гідравлічні, акустичні та роботизовані підходи.

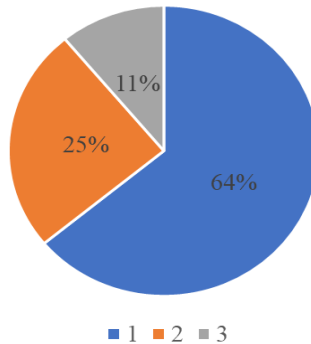


Рис. 1. Причини передчасних відмов водопровідних труб:
1 – корозія (внутрішня та зовнішня);
2 – інші фактори (гідравліка, монтаж, матеріали тощо);
3 – пошкодження третіми особами

В загальному випадку всі методи діагностики технічного стану водогонів можна розділити на дві великі групи:

1. Неруйнівні методи контролю (НК) – це базова група методів, спрямованих на виявлення прихованих дефектів, корозійного зносу та локальних порушень структури матеріалу без порушення роботи трубопроводу. Використовуються переважно на відкритих або доступних для інспекції ділянках [9].

2. Внутрішні інспекційні методи та роботизовані платформи – це методи, які забезпечують найповнішу деталізацію стану трубопроводу зсередини.

Неруйнівні методи контролю становлять ключовий інструмент технічної діагностики водогінних магістралей, оскільки дозволяють виявляти дефекти та оцінювати ступінь корозійно-механічної деградації матеріалу без припинення роботи трубопроводу та без порушення його експлуатаційної цілісності. Застосування НК забезпечує отримання кількісних параметрів, необхідних для визначення залишкової товщини стінки, рівня небезпечних дефектів і прогнозування залишкового ресурсу труб. Серед всіх методів НК для діагностики трубопроводів найбільш придатними є: ультразвукові методи, магнітні методи та вихрострувові методи.

Комбіноване застосування всіх трьох методів забезпечує найбільш повну картину стану трубопроводу.

Внутрішні методи інспекції трубопроводів належать до найбільш інформативних технологій діагностики, оскільки забезпечують безпосереднє обстеження внутрішньої поверхні труби, виявлення корозійних, механічних і геометричних дефектів по всій протяжності трубопроводу. На відміну від зовнішніх методів НК, внутрішні інспекційні системи дають змогу отримати комплексне картування стану труби, що є критичним для оцінювання залишкового ресурсу магістральних водогонів. Ці методи поділяються на: інструменти інлайн-інспекції PIG та роботизовані інспекційні системи.

Отже, можна зробити висновок, що протяжність водогонів понад 180 тис. км у поєднанні з їхнім віком зумовлює високий рівень фізичного й корозійного зношення та зростання аварійності. Дослідження показало, що деградацію мереж формує комплекс чинників, серед яких провідними є корозійні процеси. Розглянуті неруйнівні методи контролю, зокрема внутрішньотрубна інспекція та роботизовані системи, демонструють різні можливості щодо виявлення корозійних, геометричних і механічних дефектів. Порівняння підтверджує, що найбільш ефективним є комбінований підхід: інлайн-інспекція забезпечує повне картування стану труб, а роботизовані й локальні методи НК доповнюють її на важкодоступних ділянках.

Отже, підвищення надійності водогонів потребує інтегральної системи діагностики з регулярним моніторингом, спеціалізованими інспекціями, моделюванням залишкового ресурсу та своєчасними відновлювальними заходами. Такий комплексний підхід мінімізує аварійність, зменшує втрати води й забезпечує стабільну роботу водогосподарської інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Central Water Supply of Ukraine, 2025, Emergency Condition of Networks, URL: <https://surl.li/pfbafb> (accessed 01.11.2025).
2. National Report on Drinking Water Quality in Ukraine, 2022, Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine, URL: <https://surl.li/zsauao> (accessed 10.11.2025).
3. Potopalska, K. Ye., 2016, Review of Corrosion Damage Development Models in Pipeline Systems, *Bulletin of NTU "KhPI"*, No. 46 (1218), pp. 60–65.
4. Merlot, D. J., Sivertsen, B., et al., 2023, Corrosion Mechanisms in Urban Water Pipelines, *npj Materials Degradation*, Vol. 7, Article 5, DOI: 10.1038/s41545-023-00275-5.

5. Britton, L. G., Willey, R. J., 2024, Avoiding Water Hammer and Hydraulic Transients, *Process Safety Progress*, Vol. 43(1), pp. 101–112, DOI: 10.1002/prs.12517.

6. Xie, Z., Jiang, F., Xu, J., et al., 2023, Urban Underground Pipeline Disasters in China, *Sustainability*, Vol. 15(13), Article 10067, DOI: 10.3390/su151310067.

7. Michael Baker Jr., Inc., 2009, Mechanical Damage: Final Report, U.S. DOT PHMSA, 183 p., URL: <https://surl.li/nbioff>.

8. Abd Ghani, J., Yusop, F. M., Ismail, A., Tuan Ismail, T. N., 2024, Soil Properties Influencing Underground Pipeline Corrosion, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 109, pp. 113–119.

9. Bohdan, I., Zashchepkina, N., Bohdan, H., 2025, Geometric Parameters Control of Oil and Gas Pipes, *Proceedings of II Int. Conf. “Problems and Innovations in Engineering...”*, Khmelnytskyi, pp. 910–917.

ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ МІДІ ТА СВИНЦЮ У РОСЛИНАХ ВОДОЙМ

Вітовецька Т. В.

Київський національний університет будівництва і архітектури
просп. Повітряних Сил, 31, 03037, Київ, Україна
E-mail: Vitovetskaya@ukr.net

Анотація. Встановлено особливості накопичення та впливу різних концентрацій міді і свинцю у водному середовищі на життєвість *Ceratophyllum demersum*, зокрема на стан його пігментної системи, а також оцінка його акумулятивної здатності щодо цих металів та можливості використання для фітореMediaції природних і стічних вод, забруднених Cu і Pb.

Ключові слова: мідь, свинець, водне середовище, каротиноїди, *Ceratophyllum demersum*.

У сучасних умовах техногенного навантаження проблема забруднення водного середовища важкими металами набуває особливої актуальності. Мідь і свинець – поширені важкі метали, що активно потрапляють до водного середовища внаслідок антропогенної діяльності і мають суттєвий вплив на фізіолого-біохімічні процеси в рослинних організмах [1, 6].

Мідь є важливим для росту і розвитку рослин мікроелементом, оскільки забезпечує структурну організацію та функціонування багатьох ферментних систем, бере участь у транспорті електронів при фото-

синтезі та диханні, а також необхідна для здійснення інших процесів життєдіяльності рослинних організмів [6]. Однак у високих концентраціях мідь може бути надзвичайно токсичною для рослин, призводячи до різних фізіолого-біохімічних та морфологічних змін, зокрема до порушення функціонування пігментних систем, зміни якісного складу та кількості пігментів, викликаючи симптоми хлорозу і некрозу, до пригнічення фотосинтезу, дихання, затримки росту і навіть загибелі. Свинець вважають одним із найбільш токсичних важких металів для всіх живих організмів [2]. Біологічну роль свинцю не виявлено, однак деякими дослідженнями показано значну кумуляцію металу в рослинних організмах та його токсичну дію на пігментну систему та життєдіяльність рослин в цілому [3].

Встановлено, що деякі вищі водні рослини, зокрема *Ceratophyllum demersum*, завдяки особливостям своєї анатомічної будови, значній акумулюючій здатності та достатньо високій стійкості до впливу важких металів, можуть бути використані для біомоніторингу та фітореMediaції природних і стічних вод забруднених Cu і Pb [5].

Об'єктом досліджень був *Ceratophyllum demersum* L., який відноситься до занурених вищих водних рослин і широко поширений у водоймах України, зокрема у водоймах м. Києва [7].

Рослини *C. demersum* були відібрані із природних водойм м. Києва і вміщені в акваріум об'ємом 30 дм³, наповнений відстояною водопровідною водою. Контролем слугували рослини, які експонували в таких самих умовах, але без додавання металів у водне середовище. Вміст пігментів у *C. demersum* визначали спектрофотометричним методом. Визначення вмісту міді і свинцю у рослинах здійснювали методом оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою [2].

Результати проведених досліджень свідчать про те, що накопичення важких металів у *C. demersum* викликає окиснювальний стрес, а ступінь стійкості рослини залежить від активності її антиоксидантної системи [4].

Проявом впливу йонів важких металів (міді та свинцю) на пігментну систему *C. demersum* може бути також зміна значень величин відношень $\text{хлорофіл } a/\text{хлорофіл } b$ та $(\text{хлорофіл } a + \text{хлорофіл } b)/\text{каротиноїди}$, які мають тенденцію до зменшення у рослин, що перебувають у водному середовищі з додаванням Cu^{2+} та Pb^{2+} , порівняно з контрольними рослинами.

Результати проведених експериментальних досліджень показали, що за наявності у воді йонів Pb^{2+} і Cu^{2+} в однакових концентраціях (від 0,05 мг/дм³) токсичний вплив міді на рослинний організм є більшим, ніж свинцю.

Менша токсичність Pb порівняно з Cu, ймовірно, пов'язана з тим, що потрапляючи у водне середовище (відстояна водопровідна вода), Pb^{2+} утворює нерозчинні або малорозчинні сполуки майже з усіма наявними там аніонами, зокрема SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} . Сполука $Pb(OH)_2$ також нерозчинна у воді. При підвищенні рН водного середовища внаслідок життєдіяльності рослинних організмів здатність йонів свинцю до комплексоутворення та випадання в осад зростає, а отже, зменшується його біодоступність та токсичність, яка визначається концентрацією саме розчинної форми металу [4].

Результати досліджень щодо накопичення міді та свинцю тканинами *C. demersum* при збільшенні концентрації металів у водному середовищі показали, що *C. demersum* здатен накопичувати значну кількість Cu (до 590 мкг/г сухої маси) і Pb (до 1218 мкг/г сухої маси), рис. 1.

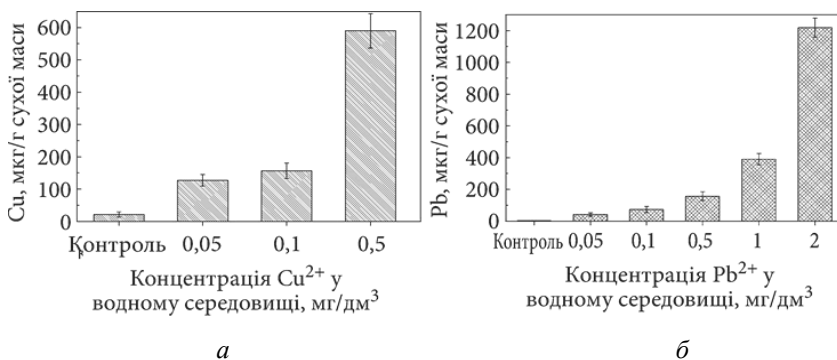


Рис. 1. Накопичення міді (а) та свинцю (б) *Ceratophyllum demersum* за різної концентрації йонів металів у водному середовищі ($M \pm m$; $n = 3-4$)

Варто зазначити і те, що *C. demersum* здатен накопичувати більшу кількість Pb без загибелі рослини. Ймовірно, це зумовлено значною здатністю Pb^{2+} до зв'язування і адсорбції на оболонці рослинних клітин при зростанні рН середовища внаслідок життєдіяльності рослин, оскільки токсичну дію металів пов'язують саме з їх йонною формою.

Оцінка акумуляційної здатності *C. demersum* щодо досліджуваних металів засвідчила, що КБН міді та свинцю рослиною досягають високих значень, однак різняться між собою залежно від концентрації і хімічних характеристик певного металу (див. табл. 1).

У міру збільшення концентрації металів у воді до певного рівня зменшуються значення величини КБН для *C. demersum*. У роботі [1, 7] також спостерігали зменшення КБН для *Potamogeton Pectinatus* L. при

зростанні концентрації міді у водному середовищі. Автори пов'язують це з насиченням рослинного організму металом і зменшенням здатності до його накопичення.

Таблиця 1

**Коефіцієнти біологічного накопичення
міді та свинцю *Ceratophyllum demersum***

Концентрація йонів металів у воді, мг/дм ³	Коефіцієнти біологічного накопичення металів	
	Cu	Pb
0,05	2540 ± 42	842 ± 28
0,1	1570 ± 34	742 ± 36
0,5	1180 ± 51	315 ± 21
1,0	—	391 ± 54
2,0	—	609 ± 43

Однак при надходженні у водне середовище металів у високих концентраціях (згідно результатів наших досліджень, такими концентраціями є 1,0 і 2,0 мг/дм), ймовірно, відбуваються порушення процесів обміну речовин, зокрема мембранного транспорту. Саме ці зміни зумовлюють неконтрольоване надходження металів у клітини, що може призводити до незворотних наслідків і загибелі рослинного організму [7].

Одержані дані щодо накопичення значної кількості міді і свинцю *C. demersum* та відносно високого рівня його стійкості до дії металів дають можливість стверджувати, що даний вид доцільно рекомендувати для використання з метою фітореMediaції водного середовища при його забрудненні Cu²⁺ і Pb²⁺ за їхніх концентрацій відповідно до 0,5 і 2,0 мг/дм³. Слід зауважити, що при використанні *C. demersum* для очистки води від цих металів необхідне подальше видалення рослин з водного середовища для попередження вторинного забруднення водою металами внаслідок розкладу фітомаси.

Список використаних джерел

- Costa M. B., Tavares F. V., Martinez C. B. et al. Accumulation and effects of copper on aquatic macrophytes *Potamogeton pectinatus* L.: Potential application to environmental monitoring and phytoremediation. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. Vol. 155. P. 117–124.
- ЦКПП «Спектрометрический центр элементного анализа (СЦЭА)» при Национальном ботаническом саде им. Н.Н. Гришко НАН Украины. URL: <http://www.nbg>.

3. Basile A., Sorbo S., Conte B. et al. Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes. *Int. J. Phytoremediation*. 2012. Vol. 14, N 4. P. 374–387.
4. Linnik P.N. Heavy metals in surface waters of Ukraine: their content and forms of migration. *Hydrobiol. J.* 2000. Vol. 36, N 3. P. 31–54.
5. Buta E., Tırçık A., Csog A. et al. Comparative studies of the phytoextraction capacity of five aquatic plants in heavy metal contaminated water. *Not. Bot. Horti Agrobi.* 2014.
6. Karimi P., Khavari-Nejad R. A., Niknam V. et al. The effects of excess copper on antioxidative enzymes, lipid peroxidation, proline, chlorophyll, and concentration of Mn, Fe, and Cu in *Astragalus neomobayenii*. *The Scientific World Journal*. 2012. Vol. 2012. URL: <https://doi.org/10.1100/2012/615670>.
7. Ivanova I. Yu., Kharchenko G. V., Klochenko P. D. Higher aquatic vegetation of water bodies of the town of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2007. Vol. 43, N 3. P. 36–56.

ТЕРМОГРАФІЧНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ КОНТУЗІЇ У ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ

Гурмак О. М.¹, Кузь О. П.², Дунаєвський В. І.³, Борковська Л. М.³
Котовський В. Й.², Назарчук С. С.²

¹КНП «Київська міська клінічна лікарня № 7»

²Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

³Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарєва НАН України
E-mail: kotovsk.kpi@gmail.com

Анотація. Одне з найперших місць за частотою поранень займає мінно-вибухове ушкодження і становить 6,6–7,1 % від загальної структури бойових травм. Внаслідок дії вибухової хвилі відбувається поза межі гальмування центральної нервової системи, яке виникає у відповідь на надсильний струс мозку – контузію.

Непролікований гострий період після контузії в майбутньому має найнебезпечніші наслідки. До одних із інструментальних методів виявлення та оцінки ступеню ураження від мінно-вибухових травм відноситься метод променевої діагностики – дистанційна інфрачервона термографія (ДІТ), яка надає можливість здійснювати комплексну діагностику стану здоров'я військовослужбовців та візуалізувати наявність ознак контузійного стану. Це один з методів променевої діагностики, що дозволяє комплексно обстежити значну кількість військовослужбовців за короткий період часу та виявити патологічні зміни, які потребують додаткового обстеження вузькопрофільними спеціалістами.

Ключові слова: *військовослужбовці, контузія, термографія, осцилографічний термозріз.*

Вступ. Ведення бойових дій призводять до отримання військово-службовцями різного роду травмувань, бойових поранень, каліцтв. Черепно-мозкова травма (ЧМТ) – одна з найпоширеніших форм нейрохірургічної та неврологічної патології в усьому світі, яка супроводжується високою летальністю й інвалідизацією, тяжкими наслідками зі стійкою тимчасовою втратою працездатності [1, 2].

Вплив на організм водяної, повітряної чи звукової хвилі призводить до ЧМТ та її наслідку – контузії, що є однією із найчастіших травм, які виникають під час війни. Її поширеність серед загальної кількості поранень становить 70 %, що в свою чергу призводить до зниження ефективності ведення бойових дій та боєготовності [3, 4].

Основою контузії є струс головного мозку від дії мінно-вибухової травми, який значно відрізняється від ударів, що виникають внаслідок удару, спортивних травм або дорожньо-транспортної пригоди. Це окремий травматичний вплив на головний мозок, до якого додається ураження слухового та вестибулярного апаратів, аналогів якому не існує в клініці захворювань мирного часу. Повторювані травми голови мають серйозні довгострокові наслідки – розвиток хронічної травматичної енцефалопатії, хвороби Альцгеймера та постконтузійного синдрому (ПКС). ЧМТ супроводжується високою частотою ускладнень та тяжкими наслідками для здоров'я, зокрема когнітивними розладами, деменцією навіть при легкій формі [5, 6].

Для діагностики ЧМТ активно застосовуються сучасні методи нейровізуалізації, які відіграють важливу роль у результатах лікування та прогнозі після травми голови. Сучасні рекомендації регламентують застосовувати наступні методи нейровізуалізації: комп'ютерну томографію (КТ) головного мозку, спіральну КТ; магнітно-резонансну томографію (МРТ) та позитронно-емісійну КТ включно з іншими методами візуалізації білої речовини головного мозку [7]. До неінвазивних діагностичних методів сучасної радіології слід віднести комп'ютерну термодіагностику, яка базується на високочутливій спектральній фіксації інфрачервоного випромінювання ураженої анатомічної структури з можливістю подальшої цифрової обробки отриманої інформації теплових випромінень органів і тканин тіла людини [8].

Термографія дозволяє в найкоротші терміни верифікувати діагноз або визначити необхідність його перевірки за допомогою інших клінічних методів, а також протягом тривалого часу здійснювати моніторинг за перебігом захворювання й оцінювати ефективність лікуваль-

ного процесу. Сучасні тепловізійні системи використовують багатоелементні матричні фотоприймачі в так званому режимі «миттєвого погляду». Формування теплового образу створюється проектуванням досліджуваної ділянки за допомогою об'єктива на матричний фотоприймач, електронним поелементним зчитуванням інформації з фотоприймальної матриці та представленням термограм на екрані дисплея ПК. Можливість візуалізації досліджуваних біологічних об'єктів (БО) з якісно новими характеристиками (температурна чутливість, контрастність зображення) дозволяє значно розширити сферу застосування ДІТ в медичній практиці [9, 10].

В умовах військових дій неможливо забезпечити проведення якісних діагностичних заходів для визначення стану здоров'я військовослужбовців, особливо тих, що отримали поранення та травми. В усіх обстежених методом ДІТ було виявлено зміни термографічної візуалізації голови та обличчя, а саме: наявність зон гіпертермії скроневих ділянок голови, обличчя та потиличної зони. Результати досліджень викладені нижче.

Контузія візуалізується у вигляді гіпертермії скроневої частини (рис. 1, а, в). Градієнт температури в зоні гіпертермії (стрілка 1) має максимальне значення $+3,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $+2,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ (стрілка 3 – інтактна зона).

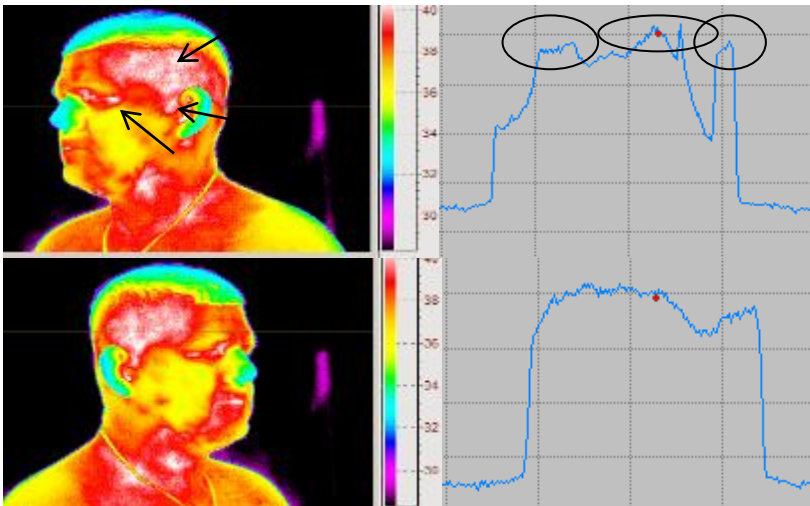


Рис. 1. Гіпертермія скроневих частин (а, в) внаслідок контузії (стрілка 2 – місце кульового поранення); осцилографічний розподіл температури (б, з) відносно ліній

Військовослужбовець отримав кульове поранення в ділянці, показаній стрілкою 2 на рис. 1, *а*. Осцилограма розподілу температури (*б*) виконана відносно лінії (*а*), зони кульового поранення, на якій спостерігається поява окремих зон з максимумами температури (виділені зони 1, 2 на рис. 1, *б*). Після спаду температури спостерігаємо різко виражену зону (3) з максимальною температурою, що відповідає ділянці кульового поранення; показано також термограма скроневої частина праворуч з осцилографічним розподілом температури (*в*, *г* – відповідно).

На рис. 2 продемонстровано гіпертермію скроневих зон (*а*, *б*) та обличчя (*в*). В анамнезі: контузія, головний біль більше праворуч, підвищений очний тиск. Спостерігається гіпертермія обличчя та посилення судинного малюнку праворуч; температура скроневої ділянки праворуч – 38,27 °С (інтактна зона – 36,05 °С); ліворуч – (37,2–37,8) °С (інтактна зона – 35,53 °С).

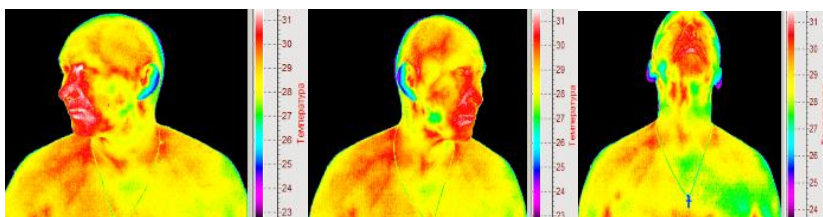


Рис. 2. Термографічна асиметрія скроневих зон (*а*, *б*) та обличчя (*в*) внаслідок контузії

Контузія може проявлятися у вигляді зон гіпертермії як в скроневих (*а*, *б*), так і в потиличній (*в*) зонах, що продемонстровано на рис. 3. Температура скроневих ділянок: ліворуч – 36,43 °С; праворуч – 36,9 °С (інтактна зона – 34,96 °С); потилична зона – (36,73–37,14) °С.

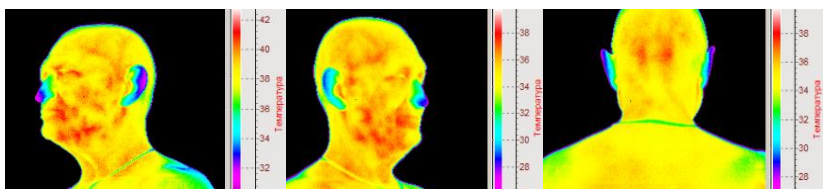


Рис. 3. Термографічна візуалізація скроневих (*а*, *б*) та потиличної зони (*в*) внаслідок контузії

Під час дії мінно-вибухового ушкодження відбувається первинне ураження, що є безпосереднім наслідком церебральної катастрофи. Досліджено [1], що у момент травми нейрони, гліальні клітини, кровоносні судини зазнають впливу сил зсуву внаслідок обертального прискорення, стискання й розтягування, спричинених прискоренням і гальмуванням, а також контактом з кістковими виступами основи черепа. Залежно від агресивності пошкоджувального чинника з'являється той чи інший об'єм первинного ураження речовини головного мозку. До первинних травматичних пошкоджень головного мозку належать дифузне аксональне пошкодження, вогнища забою та розміщення головного мозку, внутрішньочерепні крововиливи, розрив стовбура мозку тощо.

Внаслідок комплексної дії вищезазначених чинників термографічно візуалізуються зони термоасиметрії обличчя, скроневих та потиличних зон, поява ділянок з максимумами температури на осцилографічних термозрізах.

Висновки. Дистанційна інфрачервона термографія є єдиним діагностичним та інформативним методом первинної діагностики в польових умовах. Предметом подальших досліджень повинно бути знаходження взаємозв'язку церебральної катастрофи з термографічною візуалізацією судин голови та обличчя. Застосування методу осцилографічних термозрізів дозволяє отримати пошарові розподіли температури, що надає можливість створити об'ємне уявлення температурного розподілу в досліджуваних ділянках.

Список використаних джерел

1. Селюк О. В., Яковлева Н. В., Уварова О. С., Вовченко Н. В., та ін. Сучасні методи лікування пацієнтів із ЧМТ. Клінічний досвід лікарів України – застосування патогенетичної схеми Brainy. УМЧ. 2023. № 2 (154)-III/IV. С. 77–83.
2. Фітькало О. С. Особливості діагностики ПТСР у пацієнтів з контузією, ускладненого адиктивною та іншою коморбідною психопатологією. Міжнародний неврологічний журнал. 2024. Т. 20. № 6. С. 280–283. URL: <https://doi.org/10.22141/2224-0713.20.6.2024.1102>
3. Ордеров А., Романчук С., Матвейко О. Вплив контузій та їх наслідків на функціональний стан військовослужбовців. PHYSICAL ACTIVITY, HEALTH AND SPORTS. 2024. № 2 (36). С. 22–31.
4. Mortimer, D. S. (2024). Military Traumatic Brain Injury. Phys Med Rehabil Clin N Am. 35 (3) : 559–571. Epub 2024 Mar 21. PMID: 38945651. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2024.02.008>.

5. Галушко О. А. Едаравон у лікуванні контузії та постконтузійного синдрому. INFUSION & CHEMOTHERAPY. 2023. № 1. С. 32–37. URL: <https://doi.org/10.32902/2663-0338-2023-1-32-37>
6. Галушка А. М., Подолян Ю. В., Швець А. В., Горшков О. О. Особливості бойового травмування, що супроводжувалося акубаротравмою у військовослужбовців – учасників бойових дій. Військова медицина України. 2019. Т. 19. № 3. С. 56–66.
7. Поліщук М. Є., Король С.О., Камінський А.А., Береговий О. В. Прогностичні фактори несприятливого перебігу бойової черепно-мозкової травми у військовослужбовців: одноцентрове дослідження. Український журнал військової медицини. 2025. Т. 6. № 3. С. 109–113. URL: [https://doi.org/10.46847/ujmm.2025.3\(6\)-109](https://doi.org/10.46847/ujmm.2025.3(6)-109)
8. Kostrub, O., Shukalo, O., Dunaevsky, V., Kotovsky, V., Tymofeiev, V., & Nazarchuk, S. (2025). Remote infrared thermography in the system of comprehensive diagnostics of the health of military personnel before surgical intervention. ORTHOPAEDICS TRAUMATOLOGY and PROSTHETICS, (1), 5–12. URL: <https://doi.org/10.15674/0030-5987202515-12>
9. Kesztyűs, D., Brucher, S., Wilson, C., & Kesztyűs, T. (2023). Use of infrared thermography in medical diagnosis, screening, and disease monitoring: A scoping review. Medicina, 59(12), 2139. URL: <https://doi.org/10.3390/medicina59122139>
10. Requena-Bueno, L., Priego-Quesada, J. I., Jimenez-Perez, I., Gil-Calvo, M., & Páirez-Soriano, P. (2020). Validation of ThermoHuman automatic thermographic software for assessing foot temperature before and after running. Journal of Thermal Biology, 92, 102639.

METHOD OF PROCESSING EXPERIMENTAL DATA WITH A MULTIMODAL DISTRIBUTION LAW

Goroshko A., Zembytska M.
Khmelnytskyi National University, Ukraine

Abstract. *The article considers the problem of identifying technological processes based on experimental data using statistical methods. It is shown that in cases where the result is influenced by several independent factors, the distribution of product parameters can be multimodal. A model for describing the sample in the form of a linear mixture of normal densities is proposed, which allows to correctly reproduce the behavior of complex technological processes. Methods for estimating mixture parameters are presented, in particular, maximum likelihood, the method of moments and the method of least squares. It is shown that the use of such models increases the accuracy of forecasting and assessing*

the reliability of products. The results obtained can be used for product quality control and optimization of standards.

Keywords: *mixture of normal distributions, process identification, statistical modeling, multimodality, quality control.*

The problem of studying distribution laws is often addressed in the identification of technological processes [1], the development of regulatory documentation, quality control of manufactured products [2, 3], product life forecasting, and a number of other quality assurance tasks where the values of controlled quantities are determined by testing prototypes followed by processing the experimental data using mathematical statistics [4].

The essence of the probabilistic method proposed by the authors for processing experimental data subject to multimodal distribution laws is as follows. Let a certain parameter of an object be considered as a random variable X , each sample of whose realizations can be represented as a union of n subsamples. Each subsample is a sample x_i from the general population of realizations of the random variable with probability density $f_i(x, \mu_i, S_i)$, where μ_i i S_i are the mathematical expectation and standard deviation of the i -th subsample.

If the probability that X takes on values belonging to x_i is equal to ρ_i , then for subsequent processing of statistical data, it is proposed to represent the probability density of X as a linear combination of unimodal probability densities f_i , where the weighting coefficients $\rho_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, n$ are related by the condition $\sum_{i=1}^n \rho_i = 1$. In particular, the desired histogram is represented as a linear combination of Gaussian probability density functions of the form:

$$f(x, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N; S_1, S_2, \dots, S_N; \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N) = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i}{S_i \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_i)^2}{2S_i^2}\right). \quad (1)$$

To further process the experimental results, it is necessary to determine the unknown parameters, for example, by applying interpolation on a certain point set, according to which the unknown parameters must be sought based on the condition that the values of function (1) at certain points coincide with the values of the approximating function, the graph of which forms a smooth curve around the constructed histogram. To uniquely determine the $3n$ unknown parameters, the number of points in the set must be no less than $3n-1$. To find the unknowns μ_i , S_i and ρ_i , it is necessary to compose and solve a system of equations of the form:

$$\left\{ \begin{array}{l} F(x) = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i}{S_i \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp \left(-\frac{(x_j - \mu_i)^2}{2S_i^2} \right) dx, \\ j = 1, 2, \dots, 3n-1, \sum_{i=1}^n \rho_i = 1. \end{array} \right. \quad (2)$$

where μ_i , S_i , ρ_i – constant but unknown parameters of the distribution of the i -th subsample and its weighting coefficient.

These parameters can also be found using the least squares method and the method of moments. These estimates should be refined by maximizing the maximum likelihood function.

$$W = \prod_{j=1}^{3n-1} \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i}{S_i \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(x_j - \mu_i)^2}{2S_i^2} \right), \quad (3)$$

equating its partial derivatives with respect to the desired parameters to zero. In any case, the problem is reduced to a computer solution of a system of transcendental equations.

Obtaining a probability distribution law for the parameter under study in the form (1) allows us to proceed to solving an important practical problem: assigning an acceptable value for this parameter with a certain reliability. For example, when studying the mechanical strength of resistors, they are tested by applying various types of loads, measuring the values of those loads that lead to failure of the resistor body.

As is well known, the dispersion of the values of the parameter under study depends on the adopted manufacturing method. The boundaries of the dispersion intervals are determined by the distribution laws of the parameter, which is considered a random variable representing the sum of random variables, each of which is caused by one of the irreducible factors. When the magnitude of each component in the sum described previously is small compared to its magnitude, according to the central limit theorem [5], the distribution of the sum is close to normal. If one or more dominant factors appear among the specified factors, then the corresponding terms prevail in the sum, and the distribution law of the sum becomes multimodal. Further steps to assign an acceptable value for the parameter under study can be carried out in two ways.

1. A subsample with the minimum μ_i value is considered. Clearly, the permissible parameter value for products in this subgroup is minimal, meaning these products are more likely to fail under operating conditions

than others. The assigned permissible parameter value for such products can be adopted for the entire batch. In this case, further processing of extreme data can only occur for the specified normally distributed subsample of values with distribution parameters μ_i , S_i . If it is possible to divide the original sample of products into subsamples united by one of the dominant causes of value dispersion, then similar processing operations for the experimental data should be performed for each subsample.

2. Certain parameters allow us to write down the cumulative distribution function (1), which, like a Gaussian random variable, can be specified in a table using a computer as follows. For each value of X , which varies with a certain numerical interval, for example, 0.1, according to the table of the distribution

function of the normalized normal distribution $\Phi^x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$

it is possible to determine the probabilities

$$\gamma_i = \frac{1}{S_i \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(x-M_i)^2}{2S_i^2}\right) dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(x-M_i)/S_i} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$$

for all $i = 1, 2, \dots, n$ and further the values of the integral function $F^x(x) = \sum_{i=1}^n \rho_i \gamma_i$.

The function $F^x(x)$ will be defined in a table. The resulting table allows one to determine not only the value of the function $F^x(x)$ from the values of x , but also, conversely, to determine the value of the argument from the given values of the function. Thus, for a given confidence probability, one can determine the desired permissible value of the parameter $[X]$ from a relation of the form

$$\gamma = P\{X < [X]\} = F^x([X]) = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i}{S_i \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{[X]} \exp\left(-\frac{(x-M_i)^2}{2S_i^2}\right) dx,$$

compiled on the basis of the definition of the integral distribution function of a random variable parameter with distribution density (1).

Firstly, the second method is more accurate, as it takes into account the distribution functions of all subsamples. Secondly, it is more versatile, as it can be used to solve the problem posed in the case of an arbitrary distribution, provided a table of the dependence of the confidence probability and the argument of the cumulative distribution function of the variable being studied

is first created. Furthermore, the second method for assigning tolerances for a multimodal parameter distribution extends to both the special case and the unimodal distribution. Moreover, assigning a tolerance using the cumulative distribution function in this special case can even serve as a supplement and refinement to the method for solving a similar problem for a unimodal parameter distribution, described earlier under the assumption that the true value of the measured variable coincides with its mathematical expectation. In order not to require the fulfillment of the last condition and to obtain a value of the permissible parameter value that is smaller and, in this sense, more reliable than that calculated with the specified assumption, one should take the left end of the confidence interval for S as the standard deviation and apply the tolerance assignments using the integral distribution function for a unimodal law with the mathematical expectation and variance obtained in the manner specified earlier.

References

1. Pintelon, R., & Schoukens, J. (2012). System identification: a frequency domain approach. John Wiley & Sons.
2. Montgomery, D. C. (2020). Introduction to statistical quality control. John Wiley & Sons.
3. Meeker, W. Q., & Hong, Y. (2014). Reliability meets big data: opportunities and challenges. *Quality engineering*, 26(1), 102–116.
4. McLachlan, G. J., Lee, S. X., & Rathnayake, S. I. (2019). Finite mixture models. *Annual review of statistics and its application*, 6(1), 355–378.
5. DasGupta, A. (2008). Asymptotic theory of statistics and probability. New York: Springer. Vol. 180, pp. 40–41.

ТЕПЛОЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Гречанюк К. І., Богомол Ю. І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Берестейський проспект, 37, Київ, 03056

Анотація. У статті розглянуто типи теплозахисних покриттів для газових турбін з метою підвищення ефективності та тривалості їх роботи. Встановлено оптимальні параметри для різних типів покриттів, включаючи конструкцію та компонентний склад шарів. Показано, що при конструюванні теплозахисних покриттів (ТЗП) важливого значення набуває формування бар'єрного мікрошару на межі розділу проміжний жаростійкий шар – зовнішній керамічний шар.

Ключові слова: теплозахисні покриття, електронно-променеве об'єднання, композиційні матеріали.

Створення ефективних і надійно працюючих газових турбін є складною проблемою, що виникає в ході розвитку газотурбобудування. Ключовими аспектами цієї складності є робочі та соплові лопатки турбіни, матеріали та конструкція яких має важливе значення для допустимої температури газу перед турбіною, що впливає на техніко-економічні характеристики газотурбінних двигунів (ГТД). На сьогодні технологічні виклики пов'язані із подальшим розвитком конвективного охолодження лопаток та станом металургії жароміцних сплавів, що свідчать про необхідність вдосконалення параметрів циклу ГТД. Для вирішення цих питань необхідні розробки нової системи захисту лопаток газових турбін та переходу від жаростійких багатокомпонентних покриттів до теплозахисних (ТЗП).

У НВП «Елтехмаш» захисні покриття на лопатки газових турбін наносили шляхом електронно-променевого випаровування сплавів MeCrAlY , MeCrAlYNfSiZr (де Me – Ni, Co, Fe) кераміки на основі ZrO_2 , стабілізованої Y_2O_3 та подальшої конденсації парової фази на поверхні робочих лопаток газових турбін різного призначення [1].

Для нанесення жаростійких та теплозахисних покриттів розроблено лабораторне та промислове електронно-променеве обладнання. На рис. 1 показано зовнішній вигляд універсальної лабораторної електронно-променевої установки Л-2 для плавки та випаровування матеріалів у вакуумі [2]. Схеми технологічних процесів представлені на рис. 2.

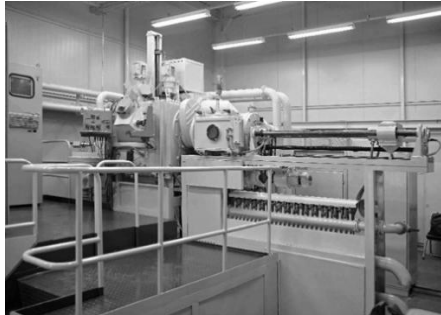


Рис. 1. Зовнішній вигляд універсальної лабораторної електронно-променевої установки Л-2

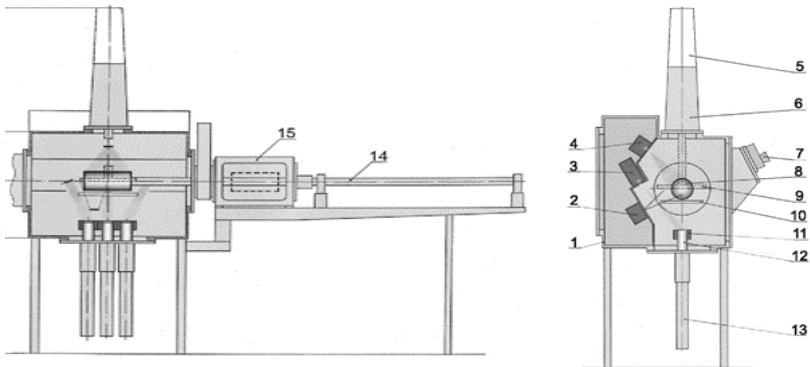


Рис. 2. Схеми технологічних процесів установки Л-2:

- 1 – робоча камера; 2 – електронно-променева (ЕП) гармата для нагрівання виробів знизу; 3 – ЕП гармата для випаровування матеріалів;**
- 4 – ЕП гармата для нагрівання виробів зверху; 5 – вертикальний механізм для подачі заготовки для сплавлення; 6 – механізм підвіски та обертання виробу;**
- 7 – оглядова система; 8 – габарит циліндричного виробу;**
- 9 – габарит дискового виробу; 10 – заслонка; 11 – тигель; 12 – зливоч;**
- 13 – механізм подачі зливка для випаровування;**
- 14 – горизонтальний механізм подачі виробу; 15 – шлюзова камера**

На установці Л-2 можна отримувати різні типи теплозахисних покриттів: одношарові металеві типу MeCrAlY , MeCrAlY(HfSiZr) ; одношарові композиційні мікрошарові типи з чергуванням шарів MeCrAlY (MeCrAlYHfSiZr) / MeCrAlY (MeCrAlYHfSiZr) + MeO де $\text{MeO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ або $\text{ZrO}_2 + 6...8 \text{ мас } \% \text{ Y}_2\text{O}_3$; двошарові покриття з внутрішнім металевим MeCrAlY (MeCrAlYHfSiZr) та зовнішнім керамічним шаром; двошарові покриття з внутрішнім композиційним $\text{MeCrAlY(MeCrAlYHfSiZr)} + \text{MeO}$ дисперснозміцненого або мікрошарового типів та зовнішнім керамічним ($\text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$) шаром; тришарові покриття з внутрішнім та проміжним металевими шарами на основі сплавів MeCrAlY (MeCrAlYHfSiZr) та зовнішнім шаром на основі кераміки ($\text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$); тришарові покриття з внутрішнім металевим MeCrAlY (MeCrAlYHfSiZr), проміжним композиційним $\text{MeCrAlY(MeCrAlYHfSiZr)} + \text{MeO}$ дисперснозміцненого або мікрошарового типів та зовнішнім керамічним ($\text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$) шарами; тришарові покриття з внутрішнім металевим MeCrAlY (MeCrAlYHfSiZr), проміжним композиційним $\text{MeCrAlY(MeCrAlYHfSiZr)} + \text{MeO}$ дисперснозміцненого або мікрошарового типів і зовнішнім керамічним ($\text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$) шаром з елементами дисперсних частинок боридів, які при окисненні заліковують мікротріщини у зовнішньому керамічному шарі, що виникають при термоциклах нагріву та охолодження.

Проведені дослідження показали, що застосування теплозахисних покриттів товщиною 250 мкм з теплопровідністю $1 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ на двох ступенях турбіни дозволяє реалізувати одну з двох можливостей [3–5]:

- при незмінній робочій температурі матеріалу лопаток збільшити температуру газу перед турбіною приблизно на 100°C , що приведе до підвищення ККД та економії палива більш як на 13 %;

- не змінюючи температуру газу перед турбіною, збільшити довговічність лопаток приблизно в 4 рази внаслідок зниження їхньої робочої температури.

Загальна товщина одношарових жаростійких покриттів не перевищує 150 мкм, двошарових теплозахисних – 200 мкм, тришарових теплозахисних – 300 мкм. Товщина демпфуючого внутрішнього шару зі зниженим вмістом Al (3–6 % мас.) у тришарових теплозахисних покриттях коливається від 30 до 50 мкм, проміжного жаростійкого шару становить 50–80 мкм, зовнішнього керамічного – 80–120 мкм. Концентрації хрому, алюмінію, ітрію в жаростійкому шарі складають, відповідно, 18–24 % мас, 10–130 % мас, 0,4–1,8 % мас, а цирконію, гафнію, силіцію становлять від 0,05 до 0,2 % мас.

Додаткове легування сплавів MeCrAlY цирконієм, гафнієм та силіцієм дозволило, з одного боку, підвищити жаростійкість одношарових багатокомпонентних та композиційних жаростійких покриттів, а з

іншого боку, при використанні зазначених сплавів в якості матеріалів для внутрішнього демпфуючого та проміжного жаростійкого шару, уповільнити дифузійні процеси на межі основа – демпфуючий шар, проміжний жаростійкий шар – зовнішній керамічний шар і тим самим підвищити ресурс роботи покриття.

Ще більше сповільнення дифузійних процесів у покритті відзначається, коли використовується проміжний жаростійкий шар у мікросферовому варіанті. Оптимальні параметри досягаються при товщині металевого та композиційного шарів, які чергуються, від 0,5 до 1 мкм і концентрації дисперсних тугоплавких частинок ($ZrO_2 - Y_2O_3$, Al_2O_3) у композиційному мікросфері від 0,3 до 1 % мас.

При конструюванні теплозахисних покриттів (ТЗП) важливого значення набуває формування бар'єрного мікросферу на межі розділу проміжний жаростійкий шар – зовнішній керамічний шар. Зазвичай шар металокераміки товщиною від 1 до 5 мкм на основі складних шпінелів з Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3 , CrO_3 і сплаву $MeCrAlY$ отримують за допомогою спеціальних технологічних прийомів. Подібний бар'єрний шар гальмує утворення оксидної плівки (Al_2O_3) на межі розділу проміжний – зовнішній шар теплозахисного покриття. Якщо товщина плівки Al_2O_3 досягає 10–15 мкм спостерігається відшарування зовнішнього керамічного шару $ZrO_2 - Y_2O_3$.

У тришарових покриттях в якості внутрішнього демпфуючого шару використовують сплави $MeCrAlY$, $MeCrAlYSiHfZr$ із співвідношенням компонентів, що забезпечують високу пластичність (відносно подовження при розриві $\delta = 2,5$ %) і достатню жаростійкість. Цей шар служить для зниження напружень у ТЗП, а також для гальмування та блокування тріщин, що розвиваються з поверхні в глибину основи.

Проміжний шар являє собою композит підвищеної жаростійкості та термостабільності. Третій зовнішній керамічний шар сформований на основі діоксиду цирконію, стабілізованого оксидом ітрію. У зовнішній керамічний шар можуть додатково вводити один або кілька тугоплавких боридів, які заліковують мікротріщини, що виникають у зовнішньому керамічному шарі. Остання модифікація ТЗП призначена для захисту лопаток першого ступеня турбіни військових двигунів п'ятого покоління.

Список використаних джерел

1. Akrymov V. A., Hrechaniuk I. M. Smashniuk Yu. O. Hrechaniuk V. H. and Liubarenko M. P. Promyslova Tekhnolohiia Nanesennia Dvosharovykh Plazmovykh Teplozakhysnykh Pokryttiv na Soplovi Lopatky Hazovykh Turbin

[Industrial technology of applying two-layer plasma heat-protective coatings on the nozzle blades of gas turbines] (Sovremennaya elektrometallurhiya, № 4. – P. 28–31 (2020).

2. N. I. Grechanyuk, G. A. Baglyuk, P. P. Kucherenko, A. G. Melnik, I. N. Grechanyuk V. G. Grechanyuk, and Y. A. Smashnyuk, Laboratory Electron-Beam Multipurpose Installation L-2 for Producing Alloys, Composites, Coatings, and Powders, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, No. 56 (1): 113 (2017).

3. I. M. Grechanyuk, M. I. Grechanyuk, G. A. Bagliuk, V. G. Grechanyuk, O. V. Khomenko, O. V. Dudnik, and V. I. Gots, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, No. 61: 459 (2022).

4. M. I. Grechanyuk, I. M. Grechanyuk, Y. N. Yevtere, V. G. Grechanyuk, T. O. Prikhna, G. A. Bagliuk, V. I. Gots, O. V. Khomenko, O.V. Dudnik, and O. V. Matsenko, Powder Metallurgy and Metal Ceramics.

5. T. O. Prikhna, I. M. Grechanyuk, M. V. Karpets, M. I. Grechanyuk, G. A. Bagliuk, V. G. Grechanyuk, and O. V Khomenko, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2022, No. 61: 230 (2022).

INVESTIGATION OF THE SOLIDIFICATION BEHAVIOUR OF 40CR STEEL INGOTS UNDER METAL HEATING AND STIRRING

*Biktahirov F. K., Shapovalov V. O., Barabash V. V., Hnatushenko O. V., Ihnatov A. P.
E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
E-mail: biktahirovfk@ukr.net*

Abstract. *To eliminate shrinkage defects in large steel ingots, a method of external influence combining electroslog heating and metal stirring during solidification has been proposed. Laboratory-scale experimental melts were carried out to produce 120 kg ingots of 40Cr steel. Longitudinal templates were cut from the obtained ingots, followed by macroscopic structure analysis, tensile tests and Brinell hardness measurements. The conducted studies demonstrate the elimination of shrinkage defects and an improvement in the physical homogeneity of the ingot as a result of the combined external influence, indicating the promise of this approach.*

Keywords: *steel ingot, solidification, external influence, electroslog heating, stirring.*

The production of large steel ingots is often accompanied by the formation of shrinkage defects in the central part of the ingot. These internal cavities, porous zones, and areas of looseness significantly deteriorate the

mechanical properties of the metal and the quality of the final products. The primary cause of such defects is the insufficient feeding of the solidifying zones with liquid metal during the final stages of crystallization.

Over the past decades, numerous methods have been proposed to address these issues [1–2], including stirring of the liquid core during ingot formation, which is widely applied in continuous casting processes [3], mechanical vibration, metal modification, and various additional heating techniques applied to the hot-top region, such as electroslag heating [4]. However, none of these approaches alone has succeeded in fully eliminating shrinkage defects or ensuring sufficient homogeneity of the solidified metal, particularly in the case of large-tonnage ingots.

To overcome these challenges, a new approach has been proposed that combines external thermal and hydrodynamic effects: heating of the metal in the hot-top and periodic stirring of the liquid core by inert gas purging [5]. The simultaneous application of these two factors reduces the extent of the mushy zone during solidification and enhances the feeding of the solidification front, thereby improving the structural and physical homogeneity of the steel ingot [6].

This work is devoted to a further investigation of the above-mentioned external influence on the structure and physical homogeneity of 40Cr steel ingots. This steel grade is widely used as a structural material in various industrial applications, including the production of steel ingots.

Under laboratory conditions, 120-kg ingots were produced by pouring molten metal into sand–clay molds, which made it possible to simulate the solidification conditions of larger ingots cast in cast-iron molds. The applied external influence consisted of electroslag heating of the ingot hot-top using a non-consumable electrode and periodic stirring of the liquid metal pool by argon purging.

Two ingots were produced. The first ingot (control) was subjected only to hot-top heating after pouring, with the temperature of the slag bath maintained close to the liquidus temperature of the metal. The second ingot (experimental) was heated with a slag temperature of 1500–1530 °C, and its liquid core was stirred five times during the solidification process by argon purging. In this case, the stirring power ranged from 3 to 4×10^{-1} W/kg.

Analysis of the ingot templates (Fig. 1) showed that the control ingot exhibits shrinkage-related defects typical for conventionally produced ingots. An open shrinkage cavity is located in the hot-top region, and a zone of increased porosity is observed further along the ingot axis at a distance of 150–200 mm from the top (approximately one third of the ingot height). According to macroscopic examination, such defects are nearly completely absent in the experimental ingot.

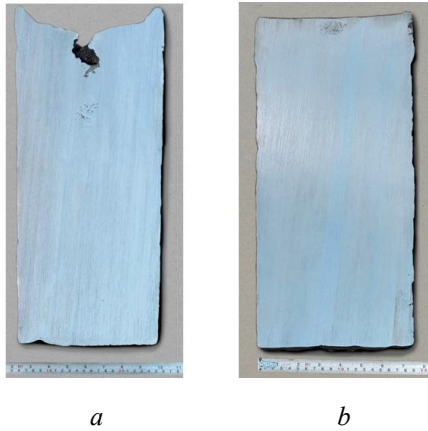


Fig. 1. Appearance of the polished surface of vertical axial templates of 40Kh steel ingots: (a) control; (b) experimental

To evaluate the physical homogeneity of the steel ingots, Brinell hardness measurements were performed across the ingot cross-section. Both the control ingot (No. 1) and the experimental ingot (No. 2) demonstrate a common trend toward decreasing hardness from the surface toward the axis and from the bottom toward the top of the ingot (Fig. 2).

However, in the control ingot, a sharp decrease in hardness is observed in the zone of increased porosity, and in the upper axial region the hardness could not be measured due to the presence of shrinkage cavities. In the experimental ingot, no significant drop in hardness was detected in the upper axial zone. Tensile tests were also carried out, and the results are presented in Fig. 3.

Specimens taken from different regions of the axial template underwent standard heat treatment for 40Cr steel. Quenching was performed at 850 °C with a holding time of 15 minutes, followed by cooling in water. This was followed by high-temperature tempering at 500 °C with a holding time of 1 hour, and subsequent cooling in air.

According to the mechanical tests, the metal exhibits sufficiently high strength values. A clearly pronounced decrease in strength is observed in ingot No. 1 in the zone of increased porosity. In ingot No. 2, such a decrease in the upper axial region is absent.

The results of mechanical testing and hardness measurements indicate improved physical homogeneity in the 40Cr steel ingot obtained under the combined action of heating and stirring of the metal. Thus, the

external influence combining electroslag heating of the hot-top metal and stirring of the liquid pool by argon purging represents a promising method for enhancing the physical homogeneity of steel ingots.

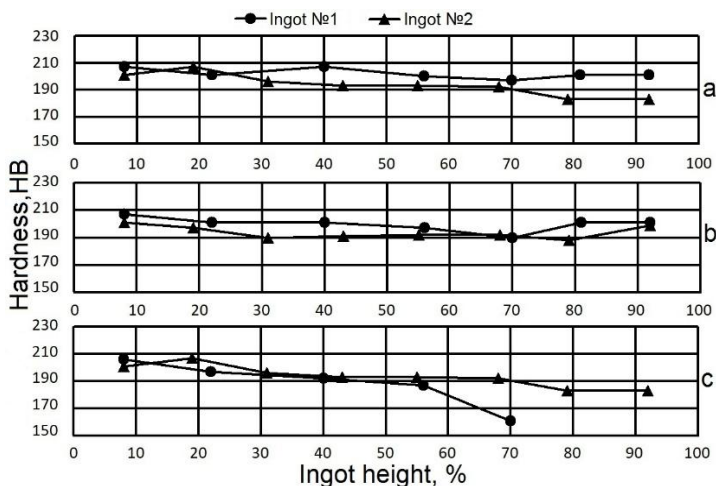


Fig. 2. Brinell hardness at the ingot template edge (a), at 2/3R (b), and along the axis (c)

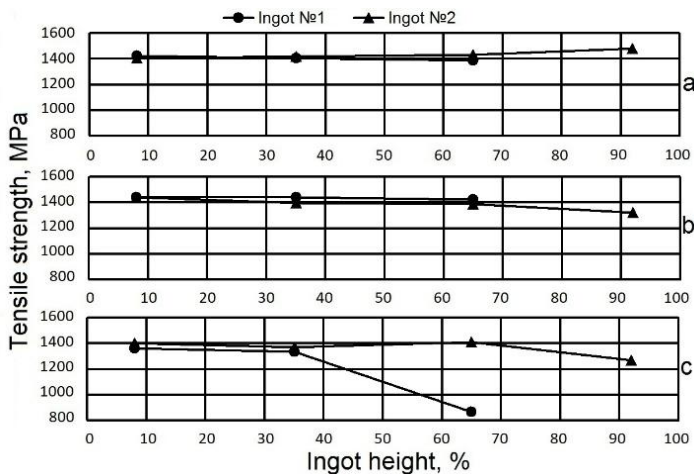


Fig. 3. Tensile strength at the ingot template edge (a), at 2/3R (b), and along the axis (c)

References

1. Tarasevich, N. I., Nuradinov, A. S., & Taranov, E. D. (2006). The influence of vibration treatment on the solidification parameters of steel workpieces. *Casting processes*, (1), 64. [in Russian]
2. Nuradinov, A. S., & Efimov, V. A. (2002). Study of thermophysical conditions of solidification of steel ingots in the field of elastic waves. *Casting Processes*, (4), 30. [in Russian]
3. Verzilov, O., Smirnov, O., & Semenko, A. (2022). Influence of electromagnetic stirrer operating modes on the structure of the billet in modern micro-plants. *Metal and casting of Ukraine*, 30 (3). URL: <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.03.048> [in Ukrainian]
4. Biktairov, F. K., Shapovalov, V. A., Efimov, M. V., Selyutin, A. A., & Padalka, V. G. (2011). Improving the quality of large ingots. *Electrometallurgy Today*, (1), 7–11. [in Russian]
5. Barabash V. V., Biktairov (2024) F. K. Application of external influence in the production of steel ingots. Overview. *Electrometallurgy Today*, (1), 40–48. <https://doi.org/10.37434/sem2024.01.05> [in Ukrainian]
6. Barabash V. V., Biktairov F. K., Shapovalov V. O., Hnatushenko O. V. The Influence of Metal Heating and Stirring on the Conditions of Steel Ingot Solidification. *Proceedings of 18th International Conference on Science and Education*, January 04–11, 2024. Hajduszoboszlo (Hungary). P. 70–74.

CHEMICAL NON-UNIFORMITY OF THE ROLLING MILL METAL ROLL MADE OF 70Kh3GNMF STEEL

*Zlyhoriev K. V., Biktairov F. K., Shapovalov V. O., Veretilnyk O. V.
E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Abstract. *The results of studies on the chemical composition of the rolling mill roll neck section, which corresponds to the upper part of the 48-ton 70Kh3GNMF steel ingot from which the roll was manufactured, are presented. It was determined that the carbon content across the entire cross-section of the roll exceeds the upper allowable limit (0.75 %) for 70Kh3GNMF steel.*

The highest content of carbon (about 1 wt.%), sulfur (up to 0.053 wt.%), and phosphorus (up to 0.023 wt.%) is observed at a distance of approximately 1/3 of the radius from the roll surface. Due to the resulting decrease in metal strength, this caused the formation of defects in the form of cracks in these areas during the ingot forging. The necessity of applying external influences to reduce segregation in the steel ingot, particularly heating and metal stirring, is noted.

Keywords: *steel ingots, chemical non-uniformity, segregation, metal defects.*

The service life of rolling mill rolls of modern high-performance cold rolling mills, in addition to the mechanical properties of the metal, largely depends on the quality of the ingots weighing tens of tons, from which they are manufactured. Complex processes occur during the solidification of large masses of metal, leading to the formation of various non-uniformities and defects in the ingot, including chemical macro-non-uniformity. This manifests as a difference in the content of alloying and impurity elements both in the ingot as a whole and in its separate zones, for example, in the form of the so-called A- and V-shaped segregation.

The chemical non-uniformity can be quite significant, as evidenced by the results shown in Fig. 1 and 2 concerning the content of carbon, sulfur, and phosphorus in a cold-rolled roll, manufactured at one of the Ukrainian enterprises from a 48-ton ingot of 70Kh3GNMF steel. Samples for the study were taken from the roll neck, which corresponds to the upper part of the ingot (Fig. 3).

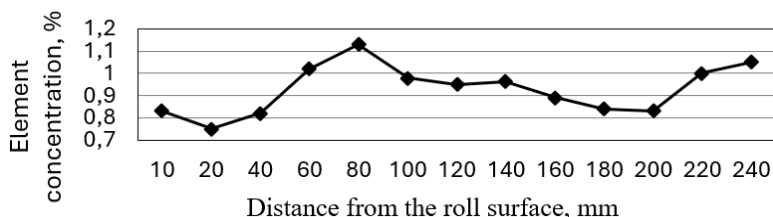


Fig. 1. Carbon distribution across the roll neck cross-section

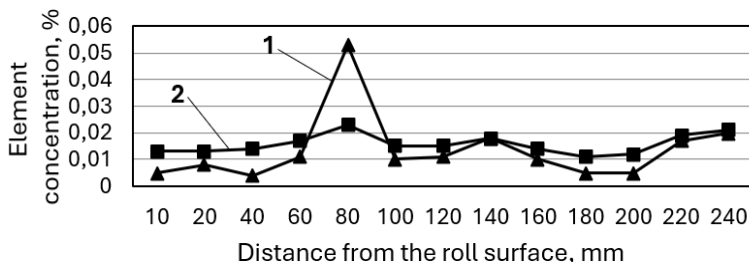


Fig. 2. Distribution of sulfur (1) and phosphorus (2) across the roll neck cross-section

The presented data show that the carbon content increases in the direction from the roll surface towards its axial part and exceeds the upper allowable limit (0.75 %) for 70Kh3GNMF steel (table). The highest content of carbon, as well as sulfur and phosphorus, is observed at a distance of

approximately 1/3 of the radius from the roll surface and in its axial zones. This likely corresponds to the areas where the original ingot had sections with off-axial (A-shaped) and axial (V-shaped) segregations.

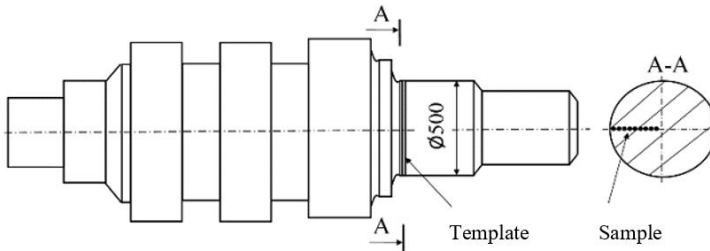


Fig. 3. Diagram of the roll from a 48-ton ingot of 70Kh3GNMF steel and the location of the template sampling for research.

Table 1

Chemical Composition of the Metal 70Kh3GNMF

Steel	Element Concentration, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
70Kh3GNMF									
Ladle Sample	0,71	0,45	0,96	0,012	0,004	2,76	0,45	0,5	0,12
Grade Composition	0,65–0,75	0,40–0,60	0,90–1,30	≤0,015	≤0,015	2,70–3,30	0,35–0,50	0,50–0,70	0,10–0,30

According to numerous studies, the areas of the ingot where off-axial and axial segregation manifest, in addition to an increased concentration of segregating elements, usually also have increased porosity and other defects. This can cause premature failure or even destruction of the product manufactured from such an ingot [3, 4].

The performed macrostructure studies of the roll confirm this. After etching, cracks were detected on the transverse template along its circumference at a distance of 80–120 mm from the roll neck surface, and defects in the form of pores and metal discontinuities with a length of 5–15 mm were found in the central part of the template. That is, the defects are predominantly located where an increased content of carbon, sulfur, and phosphorus is observed (Fig. 4).

Additional studies have shown that the fracture along these defects exhibits signs of thermal oxidation and is characterized by a non-crystalline, rubbed (or 'ground'), and smoothed structural pattern.

Based on the results of the conducted research, it can be assumed that the formation of ruptures (cracks) occurs in the areas of zonal A-shaped segregation.

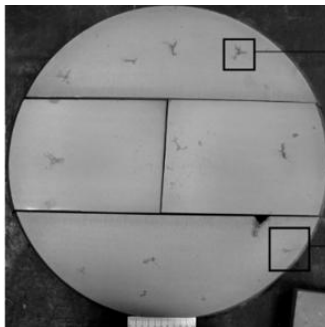


Fig. 4

In these zones, the metal, enriched with segregating impurities, has a lower melting point compared to the base metal. During the forging of the ingot to produce the roll at a temperature of 1150–1200 °C, these areas partially melt and soften, which causes their low strength and leads to failure during deformation. As a result, metal ruptures occur, which manifest as cracks on the transverse template. Such defects are unacceptable and require removal, as well as, at a minimum, the re-forging of the roll into a product of smaller mass.

The presented data demonstrate the danger of defects of segregation origin forming in a steel ingot and the necessity of developing measures aimed at their suppression. Such measures include the general reduction of undesirable impurities in the melted steel, primarily sulfur and phosphorus, as well as hydrogen by metal vacuum degassing (or "vacuum treatment of the metal").

To reduce the chemical non-uniformity of carbon during the production of large ingots, the method of successive pouring of steel from several ladles with gradually decreasing carbon concentration into the mold – the Multipouring (MP) process – is applied. However, these technological techniques do not allow for a radical impact on the processes that lead to element segregation.

More effective in terms of improving the quality of cast products can be methods of external influence that directly affect crystallization processes, such as modification, vibration treatment, metal stirring, and metal heating in the feeder head (hot top) [5]. For large steel ingots, the most effective of these are stirring the liquid core of the solidifying ingot and supplying additional heat and metal to the feeder head [6].

Studies conducted at the E.O. Paton Electric Welding Institute (EWI) using electroslag heating and metal stirring by argon blowing of its non-solidified core showed that such a combined external influence creates

conditions for a significant reduction in the extent of the two-phase zone during metal crystallization and the unimpeded flow of liquid melt from the feeder head (hot top) of the ingot to the crystallization zones [7].

As a result, steel ingots produced using metal heating and stirring are free from gross defects of shrinkage origin in the form of closed shrinkage pipe and shrinkage cavities, and the axial porosity of the metal is also significantly reduced [8].

Considering that one of the main reasons for the formation of such a dangerous defect as A-segregation is the processes of element redistribution and their movement within the two-phase zone, it can be expected that reducing its size through metal heating and stirring will allow for a decrease in the degree of development of segregation defects in the ingot.

Currently, research is being conducted on the influence of the discussed method of external influence on the chemical non-uniformity of steel ingots made from roll steel grades.

References

1. Weingart, U. (1967) Introduction to the physics of metal crystallization. 160 p. [in Russian].
2. Flemings, M. C. (1974) Solidification processing materials. Science and engineering series. New York, 364 p.
3. Dickenson, H. S. (1965) Segregation in large steel ingots. *Iron and Steel Institute*, 1, pp. 177–196.
4. Suzuki, K., Taniguchi, K. (1981) The mechanism of reducing “A” in steel ingot. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, 4, 235–342.
5. Efimov, V. A. (1969) State and prospects of research in the field of improving steel casting and the quality of steel ingots. In: *Problems of the Steel Ingot*. Moscow : Metallurgizdat, pp. 3–24. [in Russian].
6. Barabash, V. V., Biktagirov, F. K. (2024) Application of external influence in the production of steel ingots. *Review. Modern Electrometallurgy*, 1, 40–48. URL: <https://doi.org/10.37434/sem2024.01.0>. [in Ukrainian].
7. Barabash, V. V., Biktagirov, F. K., Shapovalov, V. O., et al. (2024) New method for improving physical homogeneity of steel ingots. *Proceedings of the VIIth International Conference on Welding and Related Technologies (WRT 2024)*, 7–10 October 2024, Yaremche, Ukraine). URL: <https://doi.org/10.1201/9781003518518>.
8. Barabash, V. V., Biktahirov, F. K., Shapovalov, V. O., Hnatushenko, O. V. (2024) The influence of metal heating and stirring on the conditions of steel ingot solidification. *The 18th International scientific conference on science and education. Hajduzsobozlo*, Hungary, 04–11 January.

ВПЛИВ СЕРЕДОВИЩА НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ Cu–Mo

Гречанюк І. М., Чорновол В. О.

Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітряних Сил, 31, 03037, Київ, e-mail: eltechnic777@ukr.net

Анотація. Досліджені зміни структури в поверхневому шарі композиційних матеріалів на основі міді і молібдену, отриманих методом електронно-променевого випаровування-конденсації, після проведення корозійних досліджень в середовищах насичених CO_2 і SO_2 . Проведено рентгеноструктурний аналіз поверхні півки після корозійних випробувань. На основі гравіметричних досліджень розраховані вагові і глибинні показники корозії та визначений бал корозійної стійкості.

Ключові слова: композиційні матеріали, структура, корозійна стійкість.

Композиційні матеріали (КМ) Cu–Mo, отримані методом електронно-променевого випаровування-конденсації [1], знайшли широке використання в якості електричних контактів різного призначення.

При експлуатації електричних контактів в реальних умовах (підвищена вологість, агресивні середовища тощо), крім високих механічних характеристик, тепло-, електропровідності, особливого значення набуває корозійна стійкість матеріалів. Для дослідження корозійної стійкості використовували парофазні композити з різним вмістом молібдену Cu-(2,5–5,0 % мас.)Mo; Cu-(5,1–8,0 % мас.)Mo; Cu-(8,0–12,0 % мас.)Mo [2–4].

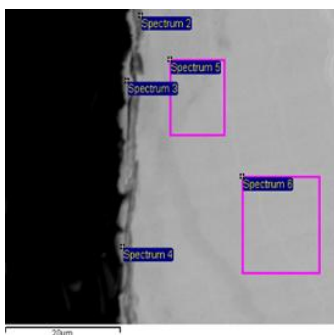
На швидкість корозійних процесів, які можуть протікати на поверхні КМ, впливає багато факторів серед яких найважливішим є склад атмосфери і вологість повітря. Викиди в атмосферу сульфуру і карбону роблять її занадто агресивною, у зв'язку з чим наносять значних збитків матеріалам, які знаходяться в ній. Підраховано, що кількість SO_2 , яка викидається в атмосферу становить до 8 % від загальної кількості палива, яке спалюється. Кожний рік в повітряному просторі накопичується до 90 млн т цього шкідливого газу. Корозійна дія SO_2 найбільше проявляється при відносній вологості більше 70 %. В зв'язку з цим дослідження корозійної стійкості проводили у дистильованій воді в атмосфері SO_2 при $\text{pH} = 6,7$ і у дистильованій воді насиченій CO_2 .

Основою проведення досліджень корозійних властивостей КМ Cu–Mo явився структурологічний підхід, оскільки при протіканні корозійних процесів змінюються склад і структура поверхневого шару.

Після проведення корозійних досліджень у дистильованій воді насиченій CO_2 і в атмосфері SO_2 встановлено, що для всіх зразків харак-

терна зміна концентрації молібдену по товщині конденсату, причому при наближенні до поверхні концентрація молібдену зменшується, а оксигену збільшується (рис. 1).

У зразках, які досліджувалися в середовищі CO_2 , на поверхні зразків збільшується також концентрація карбону максимально до 22,59 % за рахунок присутності вуглецевого газу в корозійному середовищі, що сприяє утворенню на поверхні основних солей типу $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$. Крім того, в об'ємі конденсату спостерігаються домішки карбону в кількості 0,39 % мас., що обумовлено особливостями проведення технологічного процесу.



Sp	C	O		C	Mo
2	12,78	15,14		70,5	1,57
3	22,59	16,34		59,83	1,24
4	13,06	16,98		67,39	2,87
5	0,39	0,34		84,81	14,49
6	0,4	0,26		83,6	15,74

Рис. 1. Склад конденсату Cu-(8,0-12,0 % мас.)Mo в перерізі після корозійних випробувань в атмосфері CO_2

Наявність 16,98 % мас. оксигену на поверхні свідчить про утворення оксидної плівки.

Рентгеноструктурний аналіз поверхні плівки після корозійних випробувань підтвердив, що основними її складовими є мідь і оксид міді Cu_2O . Крім того, у всіх зразках спостерігаються слабкі додаткові лінії з $d = 2,22$ і $1,11\text{Е}$, які відповідають оксиду молібдену і їх кількість зростає зі збільшенням його вмісту в конденсаті (див. рис. 2).

Наведені результати дають підстави визначити механізм корозійних процесів: корозія мідно-молібденових конденсатів супроводжується утворенням мікрогальванічних пар мідь –молібден, в яких більш активний метал – молібден дифундує до поверхні, іонізується і переходить в розчин. Крім того, враховуючи різні потенціали на поверхні, відбувається іонізація міді з переходом у середовище іонів купруму. При взаємодії іонів молібдену і купруму з оксигеном із розчину на поверхні конденсату утворюється оксидна плівка, яка складається із окси-

дів купруму і оксиду молібдену. Така плівка не суцільна і не має захисних властивостей, в зв'язку з чим процес корозії поширюється вглибину. Механізм корозійних процесів однаковий в досліджуваних середовищах.

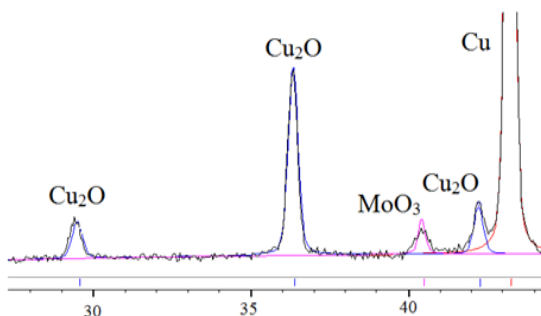


Рис. 2. Фрагмент рентгенограми Cu–Mo після випробовування у дистильованій воді насиченій CO_2

Така тенденція зберігається для КМ з різним вмістом молібдену. Корозійна стійкість зменшується в усіх досліджуваних середовищах від конденсатів з більшою концентрацією молібдену до зразків з меншим вмістом молібдену. Ці результати підтверджуються гравіметричними дослідженнями проведеними протягом 100 годин в дистильованій воді, у воді насиченій CO_2 і у воді з вмістом SO_2 , що відповідає $\text{pH} = 6,7$. Вимірювання зміни маси проводили через кожні 20 год (рис. 3).

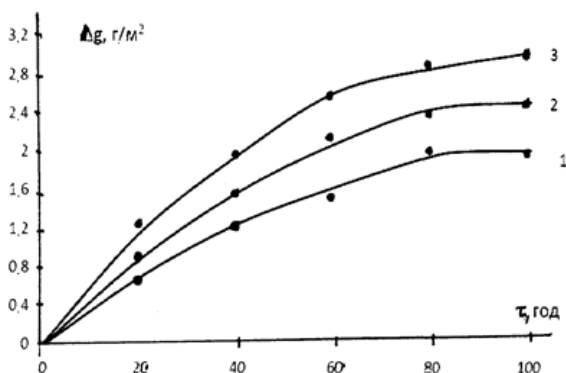


Рис. 3. Вплив концентрації молібдену в композитах Cu-(8,0–12,0 % мас.)Mo на зменшення маси зразків в різних середовищах:
1 – дистильована вода; 2 – SO_2 ; 3 – CO_2

Інтенсивність корозійних пошкоджень, як показали дослідження, збільшується при випробуваннях в різних середовищах в такій послідовності: найменша у воді, потім SO_2 і найбільша в атмосфері CO_2 . Про це свідчить характер пошкоджень і також інтенсивність утворення оксидів на поверхні конденсатів Cu–Mo. Встановлено, що із збільшенням вмісту молібдену втрати маси збільшуються у всіх середовищах. Найбільше зменшення маси характерне для середовища, насиченого CO_2 .

На основі гравіметричних досліджень розраховані вагові і глибинні показники корозії і визначений бал корозійної стійкості (табл. 1).

Таблиця 1

**Вагові і глибинні показники корозії матеріалу С–Мо
в різних середовищах**

Матеріал	$K_{ваг},$ г/м ² ·год	P , мм/рік	Бал корозійної стійкості
Дистильована вода			
Cu-(2,5–5,0 %мас.)Mo	0,045	0,043	Стійкі 4
Cu-(5,1–8,0 %мас.)Mo	0,051	0,050	
Cu-(8,0–12,0 %мас.)Mo	0,058	0,057	Стійкі 5
Дистильована вода насичена CO ₂			
Cu-(2,5–5,0 %мас.)Mo	0,063	0,062	Стійкі 5
Cu-(5,1–8,0 %мас.)Mo	0,069	0,068	
Cu-(8,0–12,0 %мас.)Mo	0,075	0,074	
Дистильована вода насичена SO ₂			
Cu-(2,5–5,0 %мас.)Mo	0,046	0,045	Стійкі 4
Cu-(5,1–8,0 %мас.)Mo	0,055	0,054	Стійкі 5
Cu-(8,0–12,0 %мас.)Mo	0,065	0,064	

З результатів дослідження витікає, що найбільші втрати маси спостерігаються в дистильованій воді насиченій CO_2 , яким відповідає найнижчий бал корозійної стійкості. Для підвищення корозійної стійкості необхідне додаткове легування мідної матриці. Одним із поширених методів легування міді є введення добавок металів, що входять до складу бронзи і утворюють тверді розчини з міддю.

Список використаних джерел

1. Grechyanyuk N. I. Baglyuk G. A. Kucherenko P. P., Melnik A. G., Grechyanyuk I. N. Grechyanyuk V. G. Smashnyuk Y. A. Laboratory Electron-

Beam Multipurpose Installation L-2 for Producing Alloys, Composites, Coatings, and Powders Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2017, 56 (1), P. 113–121.

2. Grechanyuk N. Corrosion resistance of composite materials Cu–Mo–Zr–Y, used as electrical contacts / N. Grechanyuk // 7-th International Conference on Electron Beam Technologies, 1–6 June 2003. – Varna, Bulgaria. – P. 265–269.

3. Grechanyuk N. I., Konoval V. P., Grechanyuk V. G., Bagliuk G. A., Myroniuk D. V. Properties of Cu–Mo Materials Produced by Physical Vapor Deposition for Electrical Contacts Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2021, 60 (3–4), P. 183–190.

4. Grechanyuk V. G., Grechanyuk N. I., Chornovol V. O., Kozyrev A. V., Gots V. I. Matsenko A. V. Kulichenko V. A. Grabina T. D Kozyreva Yu. I. Copper and Molybdenum-Based Nanocrystalline Materials Металофізика і новітні технології. – 2022. – Вип. 44, № 7. – С. 927–942.

ЗМІНА СТРУКТУРИ ПАРОФАЗНИХ КОНДЕНСОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ПІДКЛАДКИ

Гречанюк М. І.¹, Маценко О. В.²

*¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ
вул. Омеляна Прицака 3, Київ-142, Україна, 03680*

*²Київський національний університет будівництва і архітектури
просп. Повітряних Сил, 31, 03037, Київ, Україна*

Анотація. Розглянуті структурні зони з характерними граничними температурами T_1 і T_2 властиві товстим конденсатам чистих металів, твердим розчинам і однофазним тугоплавким сполукам. Показано тип структури для композиційних матеріалів (КМ) Cu–Fe, Cu–Cr, Cu–Mo, Cu–W, отриманих при температурах підкладки 700 і 900 ± 20 °С. У зазначених матеріалах, отриманих в широкому інтервалі концентрацій компонентів, виявлено утворення шаруватості на макро-, мікро-і субмікронних рівнях.

Ключові слова: композиційні матеріали, структура, температура підкладки, концентрація.

Структура і властивості матеріалу, отриманого конденсацією з парової фази, залежать від багатьох чинників [1]. Поряд з типом матриці і зміцнюючої фази, матеріалом підкладки до числа цих факторів, у першу чергу, відносяться температура підкладки і пари, що визначають кінетику реакції, а також швидкість осадження і структура поверхні підкладки.

Перші металографічні дослідження товстих конденсатів виконані на зразках міді товщиною до 1 мм, отриманих за допомогою термічного випаровування з тиглів на підкладку з плавним градієнтом температур в інтервалі 80–750 °С. Спостережувану зміну форм і розмірів структурних складових в поздовжньому перерізі конденсату в міру підвищення температури підкладки об'єднували в 5 структурних зон, пов'язуючи їх виникнення з виконанням внутрішньофазового правила ступенів.

Дослідження структури конденсатів деяких металів і тугоплавких оксидів, отриманих за допомогою електронно-променевого випаровування, дозволило запропонувати тризонну структурну модель товстих конденсатів (рис. 1) [2].

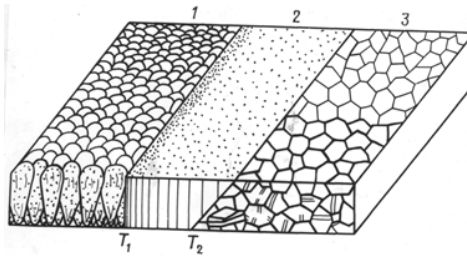


Рис. 1. Схема розподілу структурних зон конденсату залежно від температури підкладки

Перша зона – низькотемпературна, від температур кімнатних до деякої граничної температури T_1 , рівної приблизно 0,3 температури плавлення конденсованої речовини. Нижче температури T_1 поверхня конденсатів має куполоподібну будову. У перетині конденсату виявляються конусоподібні кристаліти. Зчленування суміжних кристалітів відбувається без явно вираженої міжкристалітної межі. У внутрішніх об'ємах кристалітів і особливо в прикордонних зонах присутні мікропори. Розміри конусоподібних кристалітів (діаметри півсфер) збільшуються із зростанням температури.

Друга зона – проміжна між T_1 і T_2 (0,45–0,5) $T_{пл}$ конденсованої речовини. Поблизу T_1 відбувається поступовий перехід до другої зони з рівною матовою поверхнею.

У перетині чітко виражена стовпчаста структура. Відмінною особливістю цієї структури є наявність добре виявляємих металографічних міжкристалітних кордонів. Мікропористість практично відсутня. Ширина стовпчастих кристалітів збільшується в міру зростання температури підкладки. Стовпчаста структура спостерігається до температури T_2 .

Третя зона – високотемпературна, температура вище T_2 . У цій зоні утворюється практично рівносна структура, яка виявляється і на поверхні конденсату в результаті термічного травлення. Якщо конденсована речовина зазнає поліморфні перетворення при температурі T_x , то в конденсаті з'являється додаткова зміна структури в околиці температури підкладки $T = T_x$.

Розглянуті структурні зони з характерними граничними температурами T_1 і T_2 властиві товстим конденсатам чистих металів, твердим розчинам і однофазним тугоплавким сполукам (оксидам, карбідам, боридам). У таблиці 1 наведені значення граничних температур T_1 і T_2 для товстих конденсатів деяких матеріалів. Розміри елементів структури товстих конденсатів металів, сплавів типу твердих розчинів і тугоплавких сполук – діаметр півсфер на поверхні конденсату в першій структурній зоні, ширина стовпчастих кристалітів у другій структурній зоні і діаметр зерна в третій зоні залежать від багатьох факторів. Головні з них є природа сил зв'язку речовини, що випаровується, наявність домішок, енергія атомів або молекул, які досягають поверхні конденсації [3].

Таблиця 1

**Значення граничних температур T_1 і T_2
для товстих конденсатів деяких матеріалів**

Матеріал	$T_{пл}$, К	T_1 , К	$T_1 / T_{пл}$	T_2 , К	$T_2 / T_{пл}$
Ti	1945	643 ± 10	0,33	948 ± 30	0,49
Ni	1726	543 ± 10	0,31	723 ± 10	0,42
Cu	1356	433 ± 10	0,32	673 ± 20	0,50
Fe	1809	563 ± 20	0,31	863 ± 20	0,48
Be	1573	473 ± 20	0,29	1023 ± 50	0,63
Ni–20Cr	1673	500 ± 50	0,30	870	0,52
Mo	2883	923 ± 20	0,32	1200	0,42
W	3683	1133 ± 50	0,30	1723 ± 50	0,47
ZrO ₂	2973	648 ± 10	0,22	1273 ± 100	0,43
Al ₂ O ₃	2323	623 ± 10	0,26	1173 ± 100	0,50
TiC	3340	1070 ± 30	0,31	–	–
ZrC	3690	1323 ± 50	0,36	1623 ± 50	0,44

Для конденсованих матеріалів Cu–Fe, Cu–Cr, Cu–Mo, Cu–W, отриманих за температури підкладки 700 і 900 ± 20 °C з градієнтом концентрації компонентів від 0,1 до 90 % мас. спостерігається змішаний тип структури залежно від температури підкладки (друга, третя структурні зони) і співвідношення фаз.

Для конденсованих матеріалів Cu–Fe і Cu–Cr, отриманих за температури підкладки 700 ± 20 °С, полієдрична структура – третя структурна зона спостерігається до концентрацій Fe і Cr в міді відповідно рівних 30 ± 5 % мас. і 20 ± 5 % мас. При великих концентраціях заліза і хрому в міді відбувається плавний перехід від полієдричної до стовпчастої структури. Для цих самих композитів, отриманих за температури підкладки 900 ± 20 °С, характерний дещо інший тип структури. У системах Cu–Fe полігональна структура (третя структурна зона) виявляється в усьому дослідженому інтервалі концентрацій компонентів. У конденсатах Cu–Cr перехід від полігональної до стовпчастої структури зміщується в бік більших концентрацій хрому 50 ± 5 %/мас. [4].

Для конденсатів Cu–Mo, Cu–W отриманих за температури 700 °С полієдрична структура характерна для матеріалів з низьким структурним вмістом молібдену і вольфраму (до 3 % мас.). [5]. В області концентрацій молібдену і вольфраму в міді до 10–14 % мас. спостерігається стовпчаста структура. При більших концентраціях тугоплавкої фази відбувається різке охрупчування матеріалів, що приводить до втрати технічних властивостей (табл. 2).

Таблиця 2

**Структура КМ залежно від вмісту другого компоненту
і температури підкладки**

Склад КМ	Вміст другого компоненту, % мас.	Температура підкладки, °С	Тип структури
Cu–Fe, Cu–Cr	30 ± 5 20 ± 5	700 ± 20	Стовпчаста
Cu–Fe, Cu–Cr	30 ± 5 $\geq 50 \pm 5$	900 ± 20	Полігональна стовпчаста
Cu–Mo, Cu–W	≤ 3 %	700 ± 20	Полігональна
Cu–Mo, Cu–W	10–14	700 ± 20	Стовпчаста
Cu–Mo, Cu–W	< 8 < 4	900 ± 20 900 ± 20	Полігональна
Cu–Mo, Cu–W	$> 8-12$ $> 4-6$	900 ± 20 900 ± 20	Стовпчаста

Якісно подібний характер зміни структури проявляється в цих самих матеріалах отриманих за температури 900 °С з тією лише відмінністю, що перехід від полігональної до стовпчастої структури зміщується в область більших концентрацій тугоплавкої фази: для Мо 8–10 % мас., вольфраму 4–6 % мас. Прийнятний комплекс фізико-механічних влас-

тивостей в цих матеріалах можна отримати при концентрації Mo і W до 50 % мас.

При дослідженні зазначених матеріалів Cu–Fe, Cu–Cr, Cu–Mo і Cu–W було виявлено принципово нове структурне явище [3]. У матеріалах, отриманих в широкому інтервалі концентрацій компонентів, виявлено утворення шаруватості на макро-, мікро-і субмікронних рівнях, обумовлене хімічним складом матеріалів, що випаровуються, природою фаз, які вводяться, температурою підкладки та іншими технологічними факторами. Виявлено утворення пересичених нерівноважних твердих розчинів на основі міді, заліза, хрому, молібдену і вольфраму, що не властиво подібним сплавам, отриманим методами литва та порошкової металургії.

Список використаних джерел

1. Manulyk A., Grechanyuk N. I., Kucherenko P. P., Melnik A. G., Grechanyuk I. N., Smashnyuk Y. A., Grechanyuk V. G. New electron-beam equipment and technologies for production of advanced materials using vacuum melting and evaporation methods developed at SPE «ELTEKHMASH» Proceedings of 20 th World Congress on Materials Science and Engineering, June 24–26, Vienna, Austria, 2019, P. 29–30 Journal of Material Sciences & Engineering, Vol. 08.
2. Демчишин А. В. Структура и свойства толстых вакуумных конденсатов металлических и неметаллических материалов и научные основы их получения : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. В. Демчишин. – Киев, 1981. – С. 39.
3. Фізико-хімічні основи формування конденсованих з парової фази композиційних матеріалів на основі міді : автореф. дис. ... д-ра хім. наук / В. Г. Гречанюк. – Киев, 2013. – С. 40.
4. Гречанюк Н. И., Гречанюк В. Г., Чорновол В. О. Фізико-хімічні властивості конденсованих із парової фази композиційних матеріалів на основі міді і хрому Proceedings of XIII international conference on science and education, January 4–13, 2020, (Hungary), p. 30–33.
5. Grechanyuk N. I., Konoval V. P., Grechanyuk V. G., Bagliuk G. A., Myroniuk, D. V. Properties of Cu–Mo Materials Produced by Physical Vapor Deposition for Electrical Contacts Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2021, 60 (3–4), P. 183–190.

ВПЛИВ ФОРМИ ШОРСТКОСТІ ПІДКЛАДКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ВИПАРОВУВАННЯ-КОНДЕНСАЦІЇ

Гречанюк В. Г.¹, Шаповалов В. О.²

¹Київський національний університет будівництва і архітектури

Київ, просп. Повітряних Сил, 31, e-mail eltechnic777@ukr.net

²ІЕЗ ім. С.О. Патона НАНУ, Київ. 03150, вул. К. Малевича, 11

Анотація. Показано, що на механічні властивості, структуру дисперсно-зміцнених матеріалів і форму мікрошарів, які утворюються в композиційних матеріалах, сильно впливає форма шорсткості підкладки, оскільки паровий потік практично точно успадковує профіль поверхні підкладки. Ідеальним варіантом є отримання рівної гладкої поверхні підкладки, що практично неможливо і економічно недоцільно через подорожчання виробництва подібних матеріалів. Найбільш прийнятною формою обробки поверхні є хвилеподібна. В якості матеріалу підкладки використовують Ст3 або листові заготовки з того ж матеріалу, який обраний для випаровування.

Ключові слова: композиційні матеріали, шорсткість, матеріал підкладки.

До останнього часу дослідження структури і властивостей масивних матеріалів перебували на стадії отримання лабораторних зразків, у зв'язку з чим вивчення впливу матеріалу і шорсткості підкладки на характеристики композитів практично не проводилися. Вибір матеріалу, що використовувався в якості підкладки, проводили емпіричним шляхом.

Зазвичай, в якості матеріалу підкладки для отримання масивних конденсатів чистих металів Fe, Ni, Cr, Cu і дисперсно-зміцнених матеріалів на їх основі використовували листову вуглецеву сталь Ст3. При отриманні масивних конденсатів з тугоплавких металів як матеріал підкладки застосовували листові заготовки з того ж тугоплавкого матеріалу, який був обраний для випаровування. Критеріями вибору служили близькість коефіцієнтів теплового лінійного розширення матеріалу основи і конденсованої речовини та виключення можливості утворення за вибраної температури підкладки евтектики на міжфазній поверхні підкладка – конденсована речовина.

Як правило, для лабораторних досліджень поверхня підкладки, на яку здійснювалася конденсація, попередньо шліфувалася до отримання шорсткості $R_a \approx 0,62\text{--}0,75$ і перед установкою в камеру осадження знежирювалася етиловим спиртом або ацетоном.

Ситуація різко змінилася, коли почалося промислове виробництво конденсованих з парової фази композиційних матеріалів Cu–Mo для електричних контактів [1–2]. Виявилося, що для отримання відтворюваних характеристик у промисловому масштабі, недостатньо вищеперахованих уявлень про матеріал підкладки і підготовку її поверхні для подальшого формування композиту. У процесі отримання композиційних матеріалів Cu–Mo було встановлено, що на структуру та фізико-механічні властивості КМ, крім перерахованих факторів, впливають:

- форма шорсткості поверхні, на яку здійснюється конденсація;
- утворення нових сполук в приповерхневих шарах підкладки внаслідок взаємодії матеріалу підкладки з парами масла і залишковим киснем в робочій камері установки, яка інтенсифікується при її нагріві до робочих температур (температур осадження композиту);
- масштабний фактор (розмір підкладки, товщина конденсату).

Форми шорсткості, що утворюються при підготовці підкладки, на яку здійснюється конденсація, можуть бути різними (рис. 1).

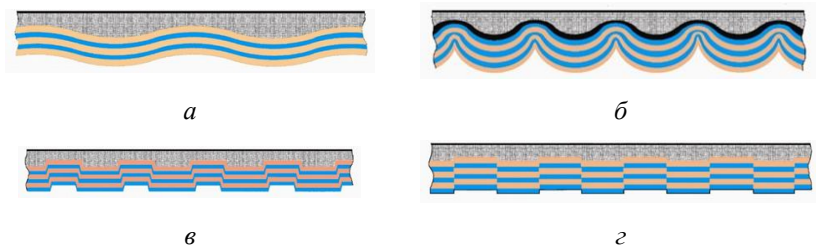


Рис. 1. Схематичне зображення форм шорсткості підкладки:
а – хвилеподібна; б – куполоподібна; в – ступінчаста; г – ребриста

Оскільки паровий потік практично точно успадовує профіль поверхні підкладки, то форма шорсткості сильно впливає на структуру дисперсно-зміцнених матеріалів і форму мікрошарів, які утворюються в КМ. Ідеальним варіантом є отримання рівної гладкої поверхні підкладки, що практично неможливо і економічно недоцільно через подорожчання виробництва подібних матеріалів.

Найбільш прийнятною формою обробки поверхні є хвиляста (рис. 1, а). У цьому випадку хвилястість композиту практично не впливає на його механічні характеристики. Збільшення рівня хвилястості, зміна її форми до куполоподібної й ребристої призводять до зміни кута падіння парового потоку на підкладку від 90° до $100\text{--}170^\circ$ залежно від форми куполів або сходинок. Така зміна у бік великих кутів сприяє

утворенню несущільностей, пористості, уривчастості мікрошарів і, як результат, зниженню механічних характеристик сконденсованого матеріалу.

У разі ребристої поверхні підкладки, якщо висота ребер порівняна з товщиною мікрошарів, які формуються в конденсованих матеріалах Cu–Fe, Cu–Cr, Cu–Mo, Cu–W, формування мікрошаруватого матеріалу без руйнування суцільності (уривчастість) шарів взагалі неможливе (рис. 1, з). У цьому випадку можливе утворення фрагментів мікрошарів, що чергуються. При конденсації на бічну поверхню під кутом близьким до 180° (рис. 1, з) конденсат, що формується, має порошкоподібну форму. Зазвичай це призводить до розшарування (розтріскування) конденсату по товщині. Відповідно така форма шорсткості взагалі неприпустима при формуванні конденсованих з парової фази КМ.

З підвищенням класу обробки підкладки покращуються механічні характеристики. Клас шорсткості (к.ш.) визначався за ДСТУ 2789-73. На рис. 2 в якості прикладу наведена зміна механічних властивостей градієнтних матеріалів Cu–Mo залежно від шорсткості підкладки із Ст3 [3].

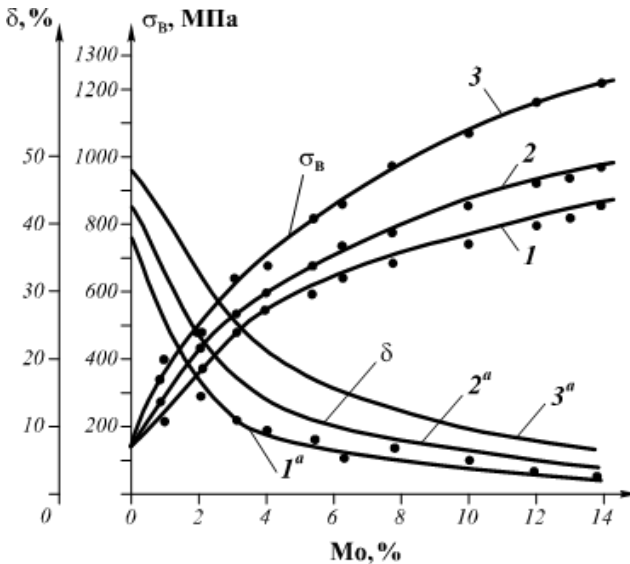


Рис. 2. Залежність межі міцності σ_b (1–3) і відносного подовження δ (1а – 3а) від ступеня шорсткості підкладки, на яку здійснюється конденсація парового потоку:
 1, 1а – фрезерування торцевою фрезою тонке, $Ra = 1,6 \dots 0,63$ (к.ш. 6–8);
 2, 2а – шліфування тонке, $Ra = 0,63 \dots 0,16$ (к.ш. 8–10);
 3, 3а – полірування електрохімічне, $Ra = 0,04 \dots 0,01$ (к.ш. 12–14)

В якості матеріалу підкладки використовують залізо (Ст3), оскільки воно вигідно відрізняється від інших матеріалів (нержавіючої сталі, титану) своєю відносною дешевизною, а також тим, що практично не взаємодіє з Cu, Mo, W в твердому і рідкому станах, а з хромом утворює безперервний ряд твердих розчинів. Проведені дослідження показали доцільність використання в якості підкладки матеріал Ст3, а також дозволили дати конкретні технологічні рекомендації щодо підготовки її поверхні перед осадженням композитів.

Список використаних джерел

1. Гречанюк М. І., Гречанюк І. М., Затовський В. Г., Гречанюк В. Г. Патент України на винахід № 114451, 2017, бюл. № 11 Композиційний матеріал для електричних контактів та спосіб його отримання.
2. Гречанюк В. Г., Чорновол В. О., Витовецкая Т. В., Апанасенко В. Ю. Композиционные материалы на основе меди, полученные методом электронно-лучевого испарения-конденсации, для электрических контактов Международная конференция «Электрические контакты и электроды» Кацивели, Украина, 21–27 сентября 2011. С. 54–55.
3. Гречанюк Н. И., Гречанюк В. Г. Механические свойства дисперсных и слоистых композиционных материалов на основе меди и молибдена. Современная электрометаллургия. № 2, 2019, с. 43–50.

ВИКОРИСТАННЯ SOLIDWORKS ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

Харжевський В. О.¹, Божек Р. О.², Підгайчук С. Я.³, Марченко М. В.⁴

¹⁻³Хмельницький національний університет

E-mail: ¹kharzhevskiy@khnmu.edu.ua, ²bozhekro@khnmu.edu.ua

³pidhaichuksv@khnmu.edu.ua, ⁴max@solidworks.net.ua

Анотація. В роботі розглядається проблема розрахунку на міцність зварних металоконструкцій з використанням чисельного методу скінченних елементів, реалізованого в системі інженерного аналізу SOLIDWORKS Simulation. Показано, що проведення розрахунків моделей зварних металоконструкцій сумісно з листовим металом має ряд особливостей, які продемонстровано в роботі на прикладі розрахунку на міцність складського стежача. Навантаження моделювалось шляхом розміщення стандартних європіддонів (1200×800). За результатами розрахунків були запропоновані зміни в конструкцію, які забезпечили необхідний коефіцієнт запасу міцності.

Ключові слова: SOLIDWORKS Simulation, метод скінченних елементів, зварні металоконструкції, балки, листовий метал, комп'ютерне моделювання.

Проблема оптимального проектування деталей машин, механізмів та різноманітних машинобудівних конструкцій є важливою в сучасному машинобудуванні, оскільки використання сучасних методів дозволяє зменшити матеріаломісткість проєктованих деталей і конструкцій, використовувати їх оптимальні геометричні форми, зокрема мінімально можливий поперечний переріз деталей, забезпечуючи при цьому задані експлуатаційні характеристики, зокрема вантажопідйомність, коефіцієнт запасу міцності, мінімальні або наперед задані геометричні розміри тощо.

З розвитком програмного забезпечення автоматизованого проєктування в машинобудуванні (Computer-Aided Design) та комп'ютерних систем інженерного аналізу (Computer-Aided Engineering) стало можливим більш точно вирішувати інженерні задачі оптимального проєктування деталей машин та конструкцій, використовуючи інтегровані в ці системи числові методи інженерного аналізу. При цьому важливо не тільки проводити розрахунки з використанням сучасних числових методів, але й організовувати багатокритеріальну оптимізацію 3D-моделей деталей машин та машинобудівних конструкцій з використанням різних обмежень і цільових функцій. Відомо, що використання зазначених методів, базуючись на фундаментальних принципах опору матеріалів, дозволяє оптимально використовувати форму поперечного перерізу деталей, забезпечити більший коефіцієнт запасу міцності навіть тоді, коли металоємність такої оптимальної конструкції може бути меншою.

Розглянемо задачу оптимального проектування зварної металоконструкції стелажа, що використовується у складському приміщенні, яка крім зварної рами включає в себе полицьки з листового металу, яка показана на рис. 1. Модель була розроблена в CAD-системі SOLIDWORKS з використанням інструментів моделювання зварних металоконструкцій (Weldments) та листового металу (Sheet Metal). Відповідні методи створення твердотільної геометрії в SOLIDWORKS детально описані в роботі [1]. Проведення оптимізації конструкції з врахуванням результатів розрахунків на міцність розглядалось нами також в роботі [2].

Розроблені у SOLIDWORKS твердотільні моделі можна використовувати для проведення різних видів інженерних розрахунків, як показано в роботах [3, 4]. Зокрема, для проведення розрахунків складських стелажів на міцність, жорсткість та вантажопідйомність, на базі конструкторської моделі в SOLIDWORKS Simulation була розроблена розрахункова модель, за допомогою якої були визначені основні характеристики конструкції, такі як розподіл напружень, переміщення різних точок і мінімальний коефіцієнт запасу міцності.

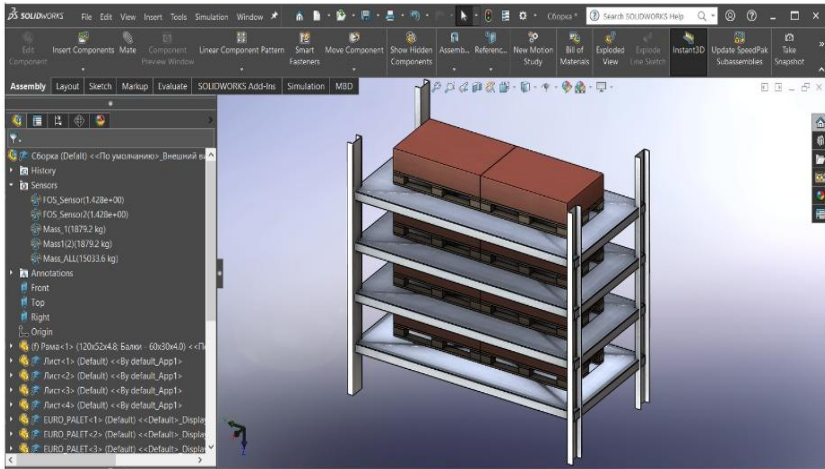


Рис. 1. Модель стелажа, виконана в SOLIDWORKS

Як видно з рис. 2, *а*, в розробленій моделі були використані різні типи скінченних елементів: балкові елементи для вертикальних опор і балок; оболонкові елементи для металевих листів, які приварені до балок полиць, а також скінченні елементи у вигляді об'ємних тетраедрів для моделювання стандартних європіддонів та вантажу.

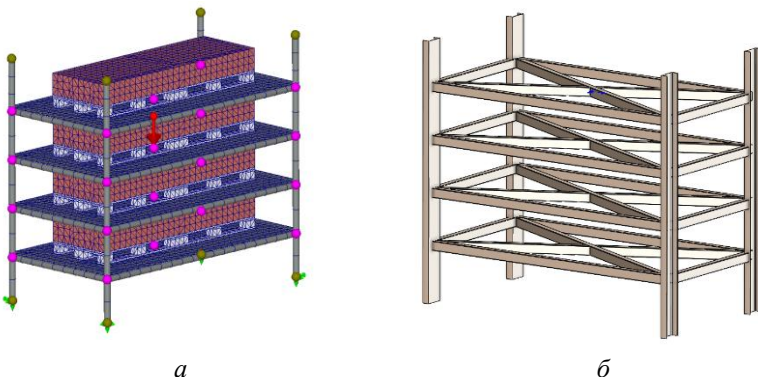


Рис. 2. Модель стелажа: а) скінченно-елементна сітка; б) зварна рама

Стелаж містить 4 полиці розміром 3000×1500 мм, загальна висота – 2500 мм, відстань між полицями по висоті – 560 мм. Стелаж при-

значеній для зберігання матеріалів на стандартних європіддонах, на кожній полиці планується розмістити по 2 таких піддони, а всього – 8. Вертикальні опори стелажа – стандартний швелер розміром 120×52×4,8 мм, а полиці – стандартні прямокутні труби перерізом 60×30 мм, з товщиною стінки 4 мм. Матеріал опор і балок – Сталь 3.

В результаті проведених розрахунків, які були проведені для розробленої моделі, були отримані наступні результати: розподіл напружень в елементах моделі (рис. 3); максимальне переміщення точок моделі (рис. 4, а), яке може характеризувати жорсткість зварної рами стелажа, а також розподіл коефіцієнта запасу міцності (рис. 4, б).

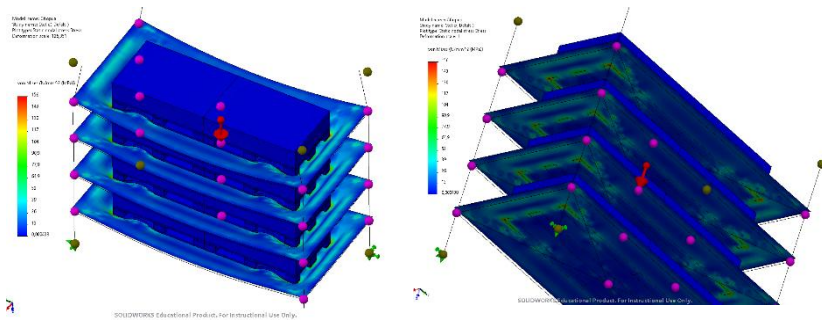


Рис. 3. Результати розрахунків: розподіл напружень у моделі, МПа

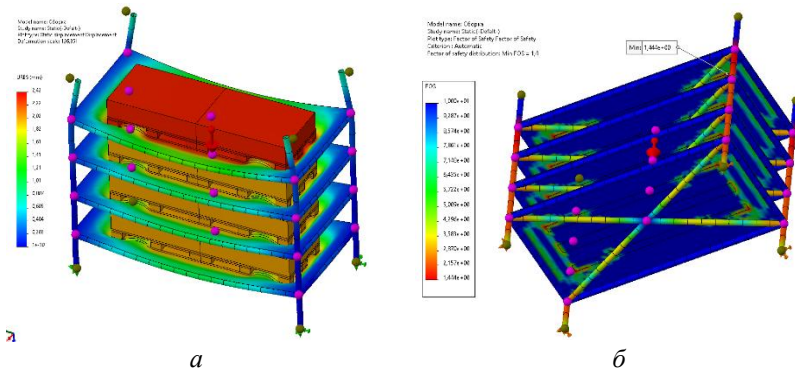


Рис. 4. Результати розрахунків: а) розподіл переміщень; б) розподіл коефіцієнта запасу міцності, мінімальне значення FOS = 1,44

Отримані результати можуть бути використані для прогнозування вантажопідйомності стелажа. Рекомендується, щоб коефіцієнт за-

пасу міцності моделі знаходився в межах $FOS > 1.25 \dots 1.5$, тому задача полягає в тому, щоб знайти таке оптимальне значення навантаження, яке буде задовольняти цьому критерію. Для цього було використано процедуру оптимізації, яка реалізована в програмному забезпеченні SOLIDWORKS Simulation під назвою “Design Study”.

Під час оптимізації одним із змінних параметрів є висота H вантажу на піддоні, яка змінювалась від 50 мм до 250 мм, таким чином загальна маса вантажу m змінювалась відповідно від 3 до 15 т. Було встановлено обмеження, що FOS має бути більшим за 1, а цільовою функцією була максимізація маси вантажу на піддоні. Результати процедури оптимізації наведені в таблиці 1, де рекомендований програмою оптимізації сценарій позначений зеленим кольором (сценарій № 3), для якого FOS знаходиться в рекомендованих межах.

Таблиця 1

Результати оптимізації для початкового варіанта конструкції

Параметр	Номер сценарію								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , мм	50	75	100	125	150	175	200	225	250
FOS	2,5	1,7	1,29	1,04	0,9	0,75	0,66	0,59	0,53
m , кг	3007	4510	6013	7517	9020	10524	12027	13531	15034

Для підвищення вантажопідйомності конструкції розміри поперечних перерізів балок (труб прямокутного поперечного перерізу) були збільшені до 100×70 мм (товщина стінки – 5 мм), розміри швелерів (вертикальних опор) були також збільшені до 200×76×5,2. Процедура оптимізації конструкції зварної рами із зазначеними розмірами балок проводилась за тих самих умов, що й у попередньому випадку. Результати розрахунків наведені у таблиці 2, де рекомендований варіант (сценарій № 9) виділено зеленим кольором.

Таблиця 2

Результати оптимізації для покращеного варіанта конструкції

Параметр	Номер сценарію								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , мм	50	75	100	125	150	175	200	225	250
FOS	5,58	4,04	3,16	2,59	2,19	1,9	1,7	1,5	1,36
m , кг	3007	4510	6013	7517	9020	10523	12027	13531	15034

Як видно з отриманих результатів, такий тип стелажа може витримувати 15 тон (замість 6 тон у початкового варіанті), при цьому мак-

симальна висота вантажу на піддоні – 250 мм, а мінімальний коефіцієнт запасу міцності (FOS) буде достатнім – 1,36. Очевидно, що збільшення розмірів поперечного перерізу балок збільшує вагу конструкції, її металоємність, що відповідно підвищує вартість. Однак слід зазначити, що використання конструкції з посиленими балками є вигідним з наступних причин:

- 1) при збільшенні маси конструкції в 1,92 рази збільшення вантажопідйомності є більш ніж пропорційне – в 2,5 рази;
- 2) економія місця на складі в результаті розміщення більшої маси вантажу на одиницю площі;
- 3) уникнення ймовірності завантаження на стелаж вантажу такої маси, яка б призвела до поломки всієї конструкції, оскільки посилена конструкція стелажа витримає вагу вантажу, який може туди геометрично поміститись, на відміну від початкового варіанту конструкції.

Дослідження планується продовжити в напрямку проведення багатокритеріальної оптимізації за додатковими критеріями.

Список використаних джерел

1. Howard W., Musto J. Introduction to Solid Modeling Using SOLIDWORKS 2022 [18 ed.]. McGraw Hill. 432 p.
2. Харжевський В., Божек Р., Підгайчук С. Оптимізаційне проектування зварних металоконструкцій з використанням SOLIDWORKS Simulation на прикладі складських стелажів // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, № 3 (350), 2025. С. 534–541.
3. Kurowski P. Finite Element Analysis for Design Engineers. Third edition. SAE International, 2023. 287 p.
4. Nudehi S., Steffen J. Analysis of Machine Elements Using SOLIDWORKS Simulation 2024. SDC Publications. 2024. 558 p.

ВПЛИВ МЕТОДІВ ПОСТОБРОБЛЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРІВ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ АДИТИВНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Демчук Б. В.¹, Драч І. В.²

Хмельницький національний університет

E-mail: ¹demchukbv@khmnu.edu.ua, ²drachil@khmnu.edu.ua

Анотація. У огляді проаналізовано ефективність різних методів постоброблення (хімічних, термічних, механічних та комбінованих) для виробів, виготовлених методами адитивного виробництва. Розглянуто вплив

оброблення парами розчинників, термічного відпалу, нанесення покриттів та відцентрової галтовки на шорсткість поверхні та механічні властивості матеріалів ABS, PLA, та PEEK. Означено оптимальні режими для підвищення експлуатаційних характеристик.

Ключові слова: адитивні технології, полімери, міжшарові властивості, постобробка, термічний відпал, шорсткість поверхні, механічна міцність.

Адитивні технології дозволяють створювати деталі складної геометрії, проте часто поступаються традиційним методам за якістю поверхні та механічною міцністю через шарувату структуру та наявність пор. Тому актуальним завданням є пошук ефективних методів постоброблення, які дозволяють нівелювати ці недоліки. У цьому огляді узагальнено результати експериментальних досліджень щодо покращення властивостей полімерних матеріалів.

Для деталей з ABS ефективним методом є оброблення парами ацетону. У дослідженні [1] було встановлено, що цей процес дозволяє досягати вищої розмірної точності, незважаючи на більшу товщину шару (0,20 мм проти 0,15 мм). Зразки ABS були поміщені в ацетоновий туман, що утворювався в контрольованих умовах, з метою покращення механічних властивостей матеріалу. Дослідження кінетики процесу показало, що короткочасна обробка (до 35 с) дозволяє суттєво знизити шорсткість поверхні.

Процес проходить у три стадії: початкове збільшення шорсткості (R_a зростає з 5,3 до 8,5 мкм), перехідний етап, коли починається гомогенізація поверхні, та фінальна стадія, де шорсткість зменшується до $R_a = 0,571$ мкм. При цьому спостерігається незначне зниження границі міцності (UTS) та модуля Юнга (на 9 % та 19 %, відповідно), проте зростає відносне видовження (з 4,7 % до 6,1 %), що свідчить про пластифікацію поверхневого шару та зменшення ймовірності крихкого руйнування. Цей підхід засвідчує ефективність хімічної обробки для покращення шорсткості поверхні деталей з ABS.

Для високоміцних композитів на основі поліфеніленсульфіду (PPS), армованого безперервним вуглецевим волокном, у [2] запропоновано комбінований підхід: модифікацію волокон наночастинками кремнезему/полідофаміном (PDA/NPs) та постоброблення гарячим пресуванням. У рамках цього дослідження було виявлено, що попереднє оброблення вуглецевих волокон приводить до покращення адгезії на межі «волокно–матриця», що є критично важливим для поліпшення механічних характеристик композиту. Коли волокна піддаються такому оброб-

ленню, спостерігається збільшення міцності на згин на 27 % порівняно з необробленими зразками. Крім того, постоброблення з використанням методів гарячого пресування дозволила зменшити пористість з 10,2 % до 3,4 %, що суттєво покращило міжшарову міцність на зсув (ILSS) до 24,73 МПа. Встановлено, що комбінований підхід до обробки забезпечує не лише поліпшення механічних характеристик, але й підвищення довговічності композитів в умовах експлуатації.

Для PLA-пластику авторами [3] досліджено суміщення процесів термічного відпалу та полімеризації порошкового покриття в одному циклі (120°C). Встановлено, що оптимальний час витримки становить близько 11 хв. Це забезпечує зростання механічної міцності (зусилля руйнування зросло з ~260 Н до ~478 Н) за рахунок кращої дифузії полімерних ланцюгів між шарами. Після термічного відпалу, який сприяє кристалізації і зменшенню залишкових напружень, порошкове покриття забезпечує гладку, глянцеву поверхню, що підвищує захист деталей від навколишнього середовища і покращує їх естетичні характеристики. Наявність порошкового покриття також значно зменшує видимість швів, притаманних FDM-друку.

Дослідження впливу температури відпалу (120–180 °C) та статичного одновісного навантаження на міцність ABS-деталей [4] показало, що домінуючим фактором є температура. Вплив початкового статичного навантаження виявився статистично незначущим для оснастки, яка утримувала шість зразків одночасно, підтримуючи їх форму за допомогою сепараторів. Максимальний приріст міцності на розрив (на 89 %, до 34,22 МПа) досягається при 160 °C, що наближає показники друкованих деталей до литих (40 МПа).

Результати дослідження [4] показують, що при температурі 180 °C деталі розм'якшуються, що призводить до втрати геометричної цілісності. Це свідчить про необхідність оптимізації температурних режимів для досягнення максимальних механічних характеристик без ризику деформації деталей.

Для високотехнологічного пластику PEEK ефективним методом зниження хвилястості поверхні є відцентрове дискове галтування (CDFP). У [5] було проаналізовано вплив шести різних параметрів: типу та кількості абразивного середовища, швидкості обертання галтування, кількості води, використання спеціальної добавки (compound) та тривалості оброблення – на зменшення хвилястості поверхні та втрату ваги зразків PEEK, надрукованих методом FDM. Виявлено, що тип абразиву, швидкість та час оброблення значно впливають на зменшення хвилястості, а також на шорсткість кутів і усунення задилок.

Результати дослідження [5] підтвердили, що CDFP є ефективним методом для покращення якості поверхні 3D-друкованих деталей, дозволяючи досягти зменшення хвилястості на 98 % навіть при неоптимальних параметрах і підкреслюючи важливість правильного підбору абразиву та режимів оброблення для отримання бажаного результату.

Висновки. Аналіз сучасних методів постоброблення показав, що ефективність технологічних процесів для деталей, виготовлених адитивними методами, значною мірою залежить від правильно обраних режимів оброблення. Хімічне оброблення, до прикладу, оброблення парами ацетону для ABS, дозволяє значно покращити якість поверхні та знизити шорсткість, водночас дещо негативно впливаючи на механічні властивості матеріалу. Термічний відпал, як для ABS, так і для PLA, сприяє кристалізації та зменшенню залишкових напружень, що підвищує міцність на розрив та зсув, особливо при оптимальному температурному режимі. Механічні методи, такі як дискове галтування для РЕЕК, ефективні для покращення естетичних характеристик та зменшення хвилястості поверхні. Комбіновані підходи, що поєднують термічний відпал, покриття чи модифікацію волокон з пресуванням, демонструють синергетичний ефект, одночасно покращуючи як механічні, так і поверхневі властивості виробів. Загалом, зазначимо, що результати досліджень підкреслюють важливість оптимізації умов постоброблення для кожного матеріалу, щоб максимально підвищити експлуатаційні характеристики деталей та забезпечити баланс між якістю поверхні і механічною міцністю.

Список використаних джерел

1. Janostik V., Cvek M., Pata V., Senkerik V., Ovsik M. Design and surface enhancement of ABS parts manufactured by Arburg plastic freeforming (APF) using chemical vapor treatment. *Materials and Design* 2025, 253, 113940. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2025.113940>
2. Lyu Y., Li A., Wu J., Koutsos V., Wang C., Brđdaigh C., Yang D. Enhanced mechanical performance of 3D printed continuous carbon fibre reinforced polyphenylene sulphide composites through dopamine treatment and post-processing compression. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2025, 190, 108627. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa./2024.108627>
3. Jovanović J., Đukanović M., Radunović L., Rogić Vuković S., Jovanović M. Enhanced Mechanical Properties and Surface Finish of PLA 3D Prints via Combined Heat Annealing and Powder Coating. *Applied Sciences* 2025, 15(17), 9338. URL: <https://doi.org/10.3390/app15179338>

4. Rane R., Kulkarni A., Prajapati H., Taylor R., Jain A., Chen V. Post-Process Effects of Isothermal Annealing and Initially Applied Static Uniaxial Loading on the Ultimate Tensile Strength of Fused Filament Fabrication Parts. *Materials* 2020, 13 (2), 352. URL: <https://doi.org/10.3390/ma13020352>

5. Zentgraf J., Nützel F., Mählbauer N., Schultheiss U., Grad M., Schratzenstaller T. Surface Treatment of Additively Manufactured Polyetheretherketone (PEEK) by Centrifugal Disc Finishing Process: Identification of the Key Parameters. *Polymers* 2024, 16(16), 2348. URL: <https://doi.org/10.3390/polym16162348>

Зміст

Пленарне засідання

Гуржій А. М., Карташова Л. А., Сорочан Т. М., Зайчук В. О. Технології штучного інтелекту в управлінні професійним розвитком педагогів: функції, можливості та ризики в умовах війни в Україні	3
---	---

Секція освіти

Забарило О. В., Забарило П. О., Коротких Ю. А. Застосування інформаційних технологій при викладанні вищої математики	8
Деркач Т. М. Сучасні підходи до викладання дисципліни «Методи та засоби обробки інформації» в умовах цифровізації освіти	12
Козубай М. Б. Актуальні виклики та тенденції в освітньому напрямі «Програмна інженерія»	15
Kharzhevska O. M. Criteria for Classifying Legal Texts	18
Халєєва О. В., Костіна Л. М., Поддуда І. А. Інтегративний аспект оптимізації знань в системі вокально-хорової підготовки вчителя музичного мистецтва	23

Секція дизайну та графіки

Петрашук С. А., Ковтун І. І., Горошко А. Л. Механізми формування рекламного образу: вербальні та візуальні домінанти	29
Шерстинук А. М. Колір та види гармоній в інтер'єрі	34
Литвиненко В. С. Етапи виконання афіші до вистави за драмою Генріка Ібсена «Дика качка»	40

Секція економіки та управління

Іванова Н. Ю., Горілий А. Р. Вплив штучного інтелекту на трансформацію людського капіталу	47
Чобіток В. І., Костін М. Д., Костін Ю. Д. Маркетингова стратегія підприємств	50

Секція будівництва і архітектури

Шатрова І. А., Демидова О. О.

Оптимізація процесів у відновлювальному будівництві
після руйнування54

Лавріненко Л. І., Афанасьєва Л. В.

Екологічні аспекти проектування будівельних конструкцій56

**Безклубенко І. С., Баліна О. І., Буценко Ю. П.,
Мащенко А. О., Серпінська О. І.**

Переваги та виклики використання ланцюгової лінії в проектуванні будівель64

Афанасьєва Л. В., Лавріненко Л. І.

Оцінка впливу корозійних пошкоджень на роботу залізобетонних балок68

Ковальчук Ю. І., Дудник В. П.

Будівельні суміші для 3D-друку будівель та будівельних компонентів74

Демидова О. О., Шатрова І. А.

Використання штучного інтелекту в маркетингу будівельних компаній78

Секція загальнотехнічних проблем

Гетун С. Ю., Гетун Г. В., Соломін А. В.

Парадигма «аугментованого інженера»:
навігація ризиками та інфраструктурними розривами в епоху ШІ83

Забарило П. О., Забарило О. В., Коротких Ю. А., Плоский В. О.

Залучення інформаційних технологій у процес моніторингу
динаміки користування енергоресурсами87

Защепкіна Н. М., Богдан Г. А, Богдан І. С.

Оцінювання технічного стану та залишкового ресурсу
магістральних водогонів91

Вітовецька Т. В.

Особливості накопичення важких металів міді та свинцю
у рослинах водойм.....95

Гурмак О. М., Кузь О. П., Дунаєвський В. І.,

Борковська Л. М., Котовський В. Й., Назарчук С. С.

Термографічна візуалізація контузії у військовослужбовців99

Goroshko A., Zembytska M.

Method of Processing Experimental Data with a Multimodal Distribution Law104

Секція матеріалознавства

Гречанюк К. І., Богомол Ю. І.

Теплозахисні покриття для лопаток газотурбінних двигунів 109

Biktahirov F. K., Shapovalov V. O., Barabash V. V.,

Hnatushenko O. V., Ihnatov A. P.

Investigation of the Solidification Behaviour

of 40cr Steel Ingots Under Metal Heating and Stirring 113

Zlyhoriev K. V., Biktahirov F. K., Shapovalov V. O., Veretilnyk O. V.

Chemical Non-Uniformity of the Rolling Mill Metal Roll Made

of 70kh3gmnf Steel 117

Гречанюк І. М., Чорновол В. О.

Вплив середовища на корозійну стійкість композиційних матеріалів Cu–Mo 122

Гречанюк М. І., Маценко О. В.

Зміна структури парофазних конденсованих композицій

від температури підкладки 126

Гречанюк В. Г., Шаповалов В. О.

Вплив форми шорсткості підкладки на механічні властивості

композиційних матеріалів, отриманих методом

електронно-променевого випаровування-конденсації 131

Харжевський В. О., Божек Р. О., Підгайчук С. Я., Марченко М. В.

Використання Solidworks для перевірки міцності

зварних металоконструкцій 134

Демчук Б. В., Драч І. В.

Вплив методів постоброблення на точність розмірів

та механічні властивості полімерних деталей,

виготовлених адитивними технологіями..... 139

Scientific Edition

SCIENCE AND EDUCATION

XX International Conference

January 03–11, 2026, Hajduszoboszlo, Hungary

Наукове видання

НАУКА ТА ОСВІТА

Збірник праць XX Міжнародної наукової конференції

03–11 січня 2026 р., Хайдусобосло, Угорщина

(українською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск: **Горошко А. В.**

Технічне редагування, коректування і верстка: **Чопенко О. В.**

Підп. до друку 18.12.2025. Формат 60×84/16.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографією. Ум. друк. арк. – 8,63. Обл.-вид. арк. – 7,70.

Тираж 50. Зам. № 112/25

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі ХНУ.

29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1.

Свідоцтво про внесення в Державний реєстр, серія ДК № 4489 від 18.02.2013 р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3770 від 28.01.2010