НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

науково-технічний журнал

НДІБВ

№ 48/2026

Циркулярна економіка як стратегічний напрям реконструкції та відновлення в повоєнній Україні с. 27

Методичні підходи до оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств з урахуванням економічної циклічності с. 125

Економічна безпека будівельних підприємств як індикатор фаз ділового циклу с. 137

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 2604 від 29.08.2024 року. Ідентифікатор медіа: R30-04499

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Балицького» (просп. Лобановського, буд. 51, м. Київ, 03110, e-mail: ndibv_post@ukr.net, Ruthen64@ukr.net).

Внесено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі технічних наук зі спеціальностей G17 «Архітектура та містобудування», G19 «Будівництво та цивільна інженерія» на підставі Наказу МОН України від 17.03.2020 р. № 409 та C1 «Економіка», D3 «Менеджмент», D6 «Секретарська та офісна справа» на підставі Наказу МОН України від 02.07.2020 р. № 886.

Внесено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») строком на три роки з 01 червня 2026 року по 31 травня 2029 року зі спеціальностей C1 «Економіка та міжнародні економічні відносини (за спеціалізаціями)», D1 «Облік і оподаткування», D2 «Фінанси, банківська справа, страхування та фондовий ринок», D3 «Менеджмент», D4 «Публічне управління та адміністрування», D5 «Маркетинг», D7 «Торгівля» на підставі Наказу МОН України від 11.06.2026 року № 928.

Науково-технічний журнал заснований у січні 2001 року.
Видається Науково-дослідним інститутом будівельного виробництва імені В. С. Балицького два рази на рік.
Мови видання: українська, англійська.
Для співробітників науково-дослідних та проектних інститутів, спеціалістів будівельних організацій, викладачів і студентів вищих навчальних закладів.

Головний редактор:
Бєлєнкова Ольга Юріївна – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економіки будівництва, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Редакційна колегія:
Гавриляк Анатолій Степанович – доктор філософії, доцент, доцент кафедри економіки підприємства та інвестицій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна
Згалат-Лозинська Любов Олександрівна –доктор економічних наук, професор, професор кафедри економічної теорії, обліку та оподаткування, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна
Зінченко Мирослава Михайлівна – кандидат економічних наук, професор, професор кафедри економічної теорії, обліку та оподаткування, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна
Ємельянова Олена Миколаївна – кандидат наук з державного управління, доцент, професор кафедри організації та управління будівництвом, Київський національний університет будівництва і архітектури
Князєва Тетяна В'ячеславівна – доктор економічних наук, професор, професор кафедри маркетингу, Державний торговельно-економічний університет, Україна
Лесик Лілія Іванівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіки підприємства та інвестицій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна
Лисиця Надія Василівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіки будівництва, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна
Марушева Олександра Анатоліївна – доктор наук з державного управління, професор, професор кафедри національної безпеки та підприємництва, Національний університет «Київський авіаційний інститут», Україна
Мусійовська Оксана Богданівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіки підприємства та інвестицій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна
Прав Юрій Григорович – доктор наук з державного управління, кандидат економічних наук, Заслужений економіст України, професор, професор кафедри соціальних та гуманітарних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна
Рижакова Галина Михайлівна – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри менеджменту в будівництві, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна
Росинський Андрій Валерійович – доктор філософії, доцент, доцент кафедри економіки будівництва, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна
Сорокіна Леся Вікторівна – доктор економічних наук, професор, професор кафедри економіки будівництва, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна
Цифра Тетяна Юріївна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіки будівництва, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна
Чуприна Юрій Анатолійович – доктор економічних наук, професор, професор кафедри менеджменту в будівництві, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна
Бумане Інга Янівна – доктор економічних наук, професор, професор кафедри фінансів та бухгалтерського обліку, Латвійський університет, Латвія
Вжесіньський Гжегож – кандидат технічних наук, доцент, Варшавський університет природничих наук, Польща
Лендо-Сивіцка Мажена – кандидат технічних наук, доцент, Варшавський університет природничих наук, Польща
Тамулевічене Дайва – доктор соціальних наук, доцент кафедри обліку та аудиту, факультет економіки та бізнес-адміністрування, Вільнюський університет, Литва
Трач Роман Володимирович – доктор технічних наук, професор, керівник кафедри гідротехніки, технологій та організації робіт, Варшавський університет природничих наук, Польща
Трач Юлія Петрівна – доктор технічних наук, професор, Варшавський університет природничих наук, Польща

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща).

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

www.ntinbuilding.ndibv.org.ua; editor@ntinbuilding.ndibv.org.ua; тел. +38 (098) 985 01 58
Літературний редактор Н. В. Славогородська
Технічний редактор І. В. Азанова
Художнє оформлення А. С. Юдашкіна
Комп'ютерна верстка та графіка Т. О. Клименко

Затверджено до друку Вченою радою інституту, протокол № 2 від 06.04.2026 р.
Редакція не несе відповідальність за достовірність наведеної в статтях інформації
Адреса редколегії журналу:
03110, Київ, МСП, пр. В. Лобановського, 51

© НДІБВ, 2026

УДК 528.4
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.1

Батракова А. Г.
д.т.н., професор кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0002-4067-4371

Шелкова І. С.
асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0003-2562-2175

Дорожко Є. В.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0003-2894-2131

Урдзік С. М.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0001-6914-1221

Бессарабов О. О.
асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0009-0008-2784-4680

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ НАЗЕМНОГО 3D-СКАНУВАННЯ ЛІНІЙНИХ МОСТОВИХ СПОРУД

Анотація. *У статті розглянуто особливості організації наземного лазерного 3D-сканування лінійного мостового переходу через р. Харків на автомобільній дорозі М-03 протяжністю 198,75 м в умовах активного транспортного руху без перекриття проїзної частини. Об'єкт дослідження – балкова розрізна споруда 1968 року побудови зі схемою 6 × 33,00 м, що не проходила інструментального обстеження з 2006 року. Для виконання польових вимірювань застосовувався лазерний сканер Trimble TX6 у режимі «Level 2», що забезпечує точність 11,3 мм на відстані 30 м. Тривалість одного циклу зйомки становила 7 хвилин, загальний обсяг польових робіт на одну сторону – 4 години при 17 станціях сканування. Обґрунтовано вибір кроку між станціями 10–12 м, що є меншим за теоретично допустиме значення 20–25 м і зумовлений необхідністю резервування видимості опорних геодезичних марок в умовах систематичного перекриття їх транспортними засобами. Розроблено схему просторового розміщення геодезичних марок шахматного забарвлення по обидва боки проїзної частини, що забезпечує розподіл опорних точок у різних азимутальних напрямках відносно кожної позиції сканера без виходу в зону руху транспорту. Описано триваріантну систему кріплення планшетних цілей до елементів мостового огородження: розпірне кріплення у швелерний профіль, фіксація еластичними шнурами до огорожі тротуару та закріплення на стійках бар'єрного огородження з використанням біндерів. Обов'язковою вимогою до всіх типів кріплення є абсолютна нерухомість марки впродовж усього циклу сканування. Розглянуто особливості встановлення триноги сканера на мостовому полотні: асиметрична конфігурація з двома опорами у бік проїзної частини та однією у бік тротуарної огорожі забезпечує стійкість системи до вібра-*

ційних навантажень від транспорту. Польові роботи виконувались протягом двох робочих днів – по одній стороні на день – для збереження однорідних умов зйомки.

Ключові слова: наземне лазерне сканування, мостовий перехід, геодезичні марки, схема розміщення станцій, Trimble TX6, організація польових робіт, лінійна споруда.

Постановка проблеми. Сучасний стан інженерних споруд характеризується зростанням рівня їх зношеності, що зумовлює необхідність впровадження ефективних безконтактних методів обстеження, зокрема наземного лазерного 3D-сканування (НЛС) [1, 2]. В умовах повоєнного відновлення України цифрове документування транспортної інфраструктури набуває стратегічного значення, оскільки НЛС забезпечує формування верифікованої геометричної бази даних для оцінки пошкоджень і планування відновлювальних робіт. Водночас, незважаючи на значний науковий доробок у сфері застосування LiDAR-технологій, питання організації польових робіт для лінійних мостових споруд середньої протяжності в умовах безперервного транспортного руху залишаються недостатньо дослідженими.

Аналіз останніх досліджень. У сучасних дослідженнях значна увага приділяється оптимізації організації наземного лазерного сканування мостових споруд як з позиції планування зйомки, так і забезпечення якості отриманих даних. Так, у роботі [3] запропоновано універсальний підхід до планування НЛС мостів у складних умовах, який базується на формуванні імітаційної сцени та оптимізації розміщення станцій сканування з урахуванням параметрів огляду. Особливу увагу приділено узгодженню позицій станцій і опорних геодезичних марок на основі взаємної видимості, що дозволяє скоротити тривалість польових робіт.

Подальший розвиток досліджень пов'язаний з аналізом впливу геометрії сканування на точність результатів. У роботі [4] експериментально встановлено, що відстань до об'єкта, кут падіння лазерного променя та конфігурація сканувальних позицій є визначальними чинниками точності оцінки деформацій за даними хмар точок. Показано, що навіть за зміни цих параметрів можливо досягти міліметрової точності, однак це потребує обґрунтованого вибору умов зйомки та методів обробки.

У свою чергу, в роботі [5] розглянуто підхід до підвищення ефективності сканування довгопрольотних мостів шляхом адаптивного планування параметрів зйомки. Запропоновано метод, що передбачає автоматичне виділення ключових елементів конструкції та багатосегментне планування сканування з варіюванням кутової роздільної здатності залежно від геометрії об'єкта і відстані до нього. Це дозволяє зменшити надлишковість хмар точок і оптимізувати обсяг даних без суттєвого погіршення точності.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз особливостей організації наземного лазерного 3D-сканування лінійного мостового переходу протяжністю 198,75 м із обґрунтуванням раціональної схеми розміщення станцій сканера та геодезичних марок в умовах активного транспортного руху без перекриття проїзної частини

Результати досліджень. Характеристика об'єкта дослідження. Об'єктом дослідження є мостовий перехід через р. Харків на автомобільній дорозі М-03 Київ – Харків – Довжанський (км 499+798, Харківська область), зведений у 1968 році під проєктне навантаження Н-30, НК-80 [6-8]. Повна довжина споруди становить 198,75 м при розрахунковій схемі 6 × 33,00 м.

Прогонова будова – балкова розрізна, виконана з попередньо напружених залізобетонних діафрагмових балок двотаврового перерізу. Підпорні конструкції представлені крайніми обсипними пальовими опорами (№ 1 та № 7) та п'ятьма проміжними стовпчастими опорами (№ 2–6), кожна з яких складається з трьох стовпів діаметром 1,20 м. Опорні частини – тангенціальні нерухомі та валкові рухомі. Габарит споруди – Г – 0,96 + 9,10 + 0,96 м, покриття проїзної частини – асфальтобетон.

Понад півстолітній вік конструкцій у поєднанні з відсутністю інструментального обстеження після 2006 року зумовили вибір даної споруди як об'єкта для апробації методу наземного лазерного сканування (рис. 1).

Вибір режиму сканування та обґрунтування кроку між станціями. Для виконання польових вимірювань застосовувався лазерний сканер Trimble TX6, що забезпечує кругове сканування у діапазоні 360° із декларованою точністю 11,3 мм на відстані 30 м у режимі «Level 2». Саме цей режим обрано як оптимальний компроміс між щільністю хмари

Рис. 1. Загальний вигляд мостового переходу через р. Харків на км 499 + 798 дороги М-03

точок, точністю вимірювань та тривалістю одного циклу зйомки. Повний цикл на одній станції становив 7 хвилин: 6 хвилин – безпосередньо просторове сканування та 1 хвилина – створення кольорової панорами для колоризації хмари точок.

Визначення раціонального кроку між станціями потребувало врахування двох конкуруючих чинників. З одного боку, декларована оптимальна дальність сканування у режимі Level 2 становить 30 м, що теоретично допускає крок між позиціями до 20–25 м при мінімально достатньому перекритті 30 %. З іншого боку, активний транспортний рух на мостовому полотні систематично створює рухомі перешкоди у вигляді транспортних засобів, що перетинають поле зору сканера і частково перекривають опорні марки під час окремих сканів.

З урахуванням цього обмеження крок між станціями було зменшено до 10-12 м, що забезпечило суттєво більше взаємне перекриття суміжних хмар і, головне, резервування видимості опорних марок: якщо в момент сканування одна або дві марки виявлялись перекритими транспортним засобом, решта залишались у полі зору і зберігали придатність для подальшої реєстрації. Загалом для зйомки однієї сторони мостового переходу виконано 17 станцій; повний обсяг польових робіт на одну сторону становив 4 години.

Схема розміщення геодезичних марок. Забезпечення можливості реєстрації окремих сканів у єдину просторову модель потребує наявності спільних опорних елементів у полі зору суміжних станцій. Для цього на мостовому переході встановлювались плоскі геодезичні марки шахматного забарвлення – чорно-білі та фіолетові квадрати. Така колірна диференціація забезпечує візуальне розрізнення просторової орієнтації станцій при камеральній обробці даних, дозволяючи чітко ідентифікувати передні та задні позиції сканування відносно напрямку руху вздовж мостового полотна.

Планування схеми розміщення марок визначалось трьома ключовими вимогами. По-перше, сканер здійснює зйомку у повному круговому діапазоні 360°, тому для геометрично надійного зшивання хмар опорні

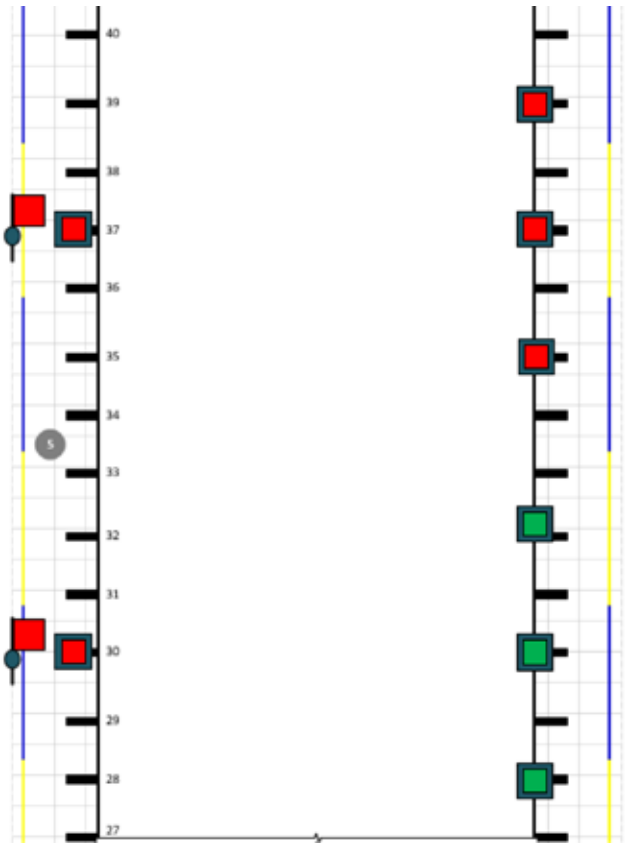


Рис. 2. Схема розміщення станцій сканера та розташування геодезичних марок

Рис. 3. Марки 1-го типу

точки мають бути розподілені в різних азимутальних напрямках відносно кожної позиції приладу. По-друге, встановлення марок безпосередньо на проїзній частині в зоні руху транспортних засобів виключалось з міркувань безпеки. По-третє, кожна марка має бути одночасно видима щонайменше з двох суміжних станцій.

Розв'язання цих вимог досягнуто шляхом розміщення марок по обидва боки проїзної частини: вздовж пішохідного тротуару та вздовж бар'єрного огородження протилежної сторони (рис. 2).

Різноманітність конструктивних елементів огородження мостового переходу зумовила необхідність розробки трьох типів кріплення геодезичних марок залежно від локальних умов на кожній ділянці.

Марки першого типу – планшетні цілі на дерев'яних стійках у вигляді флажків (рис. 3). Стійка встановлювалась безпосередньо у внутрішній простір швелерного профілю огорожі пішохідного тротуару та додатково фіксувалась дерев'яною розпіркою між стійкою та стінкою швелера. Розпірне зусилля надійно утримувало конструкцію від зміщення під дією вібрацій від транспорту та вітрових навантажень.

Марки другого типу застосовувались на ділянках, де профіль огорожі не передбачав можливості розпірного кріплення (рис. 4). Дерев'яна стійка з планшетною ціллю притягувалась до елементів огорожі за допомогою еластичних шнурів-фіксаторів, що багаторазово обмотувались навколо опорного елемента. Натяг шнурів регулювався для досягнення необхідної жорсткості кріплення.

Рис. 4. Марки 2-го типу

Марки третього типу розміщувались на металевих стійках бар'єрного огородження вздовж протилежної сторони проїзної частини (рис. 5). Фіксація здійснювалась еластичними шнурами з закріпленням кінців біндерами після створення необхідного натягу.

Обов'язковою вимогою до всіх типів кріплення була абсолютна нерухомість марки впродовж усього циклу сканування, оскільки навіть мінімальне зміщення цілі між суміжними сканами призводить до систематичних похибок просторової прив'язки хмар точок.

Особливості встановлення сканера. Встановлення сканера на мостовому полотні в умовах безперервного руху транспортних

Рис. 5. Марки 3-го типу

Рис. 6. Загальний вигляд сканера Trimble TX6 встановленого на станції стояння

засобів вимагало особливої уваги до стійкості тринога. Прийнято таке рішення: дві опори триноги орієнтувались у бік проїзної частини, третя – у бік огорожі пішохідного тротуару (рис. 6). Така асиметрична конфігурація забезпечує максимальну стійкість системи до вібраційних навантажень від проїжджаючого транспорту і виключає ризик перекидання приладу при несподіваному поривистому вітрі або наближенні великогабаритної техніки.

Польові роботи виконувались протягом двох робочих днів – по одній стороні мостового переходу на день, що дозволило зберегти однорідні умови зйомки в межах кожної частини та уникнути накопичення похибок, пов'язаних зі зміною метеорологічних умов між сесіями.

Висновки. За результатами виконаних польових робіт з наземного лазерного 3D-сканування мостового переходу протяжністю 198,75 м встановлено, що організація зйомки лінійних мостових споруд в умовах активного транспортного руху потребує низки специфічних рішень, що відрізняють цей вид робіт від сканування стаціонарних об'єктів.

Зменшення кроку між станціями до 10–12 м при оптимальній дальності сканування 30 м обумовлено не технічними характеристиками приладу, а необхідністю резервування видимості опорних марок в умовах перекриття їх транспортними засобами.

Триваріантна система кріплення геодезичних марок відповідає різноманітності конструктивних елементів огородження типового мостового переходу та може бути використана при скануванні аналогічних об'єктів.

Література

1. Батракова А. Г., Шелкова І. С., Дорожко Є. В., Саркісян Г. С., Урдзік С. М. Особливості технології наземного лазерного 3D-сканування для аналізу стану дорожнього покриву. *Вісник ХНАДУ*. 2024. Вип. 107. С. 124–129. DOI: https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.107.0.124
2. Батракова А. Г., Шелкова І. С., Дорожко Є. В., Саркісян Г. С., Урдзік С. М. Етапи оброблення показників наземного лазерного 3D-сканування дорожнього покриву з використанням Trimble RealWorks. *Вісник ХНАДУ*. 2025. Вип. 109. С. 134–138. DOI: https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.109.0.134
3. Han W.-n., Tao Y.-h., Zhu J.-s., Wang D.-w., Yang R.-p. Terrestrial Laser Scan Planning for Bridge Structures at Complex Sites. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2025. Vol. 152, № 2. DOI: https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-17077
4. Algadhi A., Psimoulis P., Grizi A., Neves L. Assessment of the Accuracy of Terrestrial Laser Scanners in Detecting Local Surface Anomaly. *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, № 24. Art. 4647. DOI: https://doi.org/10.3390/rs16244647
5. Xu Y., Zhao M., Xu C., Wang Y. Efficient in-site laser scanning scheme with adaptive angular resolution for long-span bridge geometry measurement. *Measurement*. 2024. Vol. 232. Art. 114704. DOI: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114704
6. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво [Чинний від 01.04.2016]. Київ : Мінрегіон України, 2015. 91 с.
7. ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування [Чинний від 01.03.2010]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
8. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Навантаження та впливи. Мости та труби [Чинний від 01.03.2010]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 70 с.

References

1. Batrakova, A. H., Shelkova, I. S., Dorozhko, Ye. V., Sarkisian, H. S., & Urdzik, S. M. (2024). Osoblyvosti tekhnolohii nazemnoho lazernoho 3D-skanuvannia dlia analizu stanu dorozhnoho pokryvu [Features of terrestrial laser 3D scanning technology for road surface condition analysis]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, (107), 124–129. https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.107.0.124
2. Batrakova, A. H., Shelkova, I. S., Dorozhko, Ye. V., Sarkisian, H. S., & Urdzik, S. M. (2025). Etapy obroblennia pokaznykiv nazemnoho lazernoho 3D-skanuvannia dorozhnoho pokryvu z vykorystanniam Trimble RealWorks [Stages of processing terrestrial laser 3D scanning data of road pavement using Trimble RealWorks]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, (109), 134–138. https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.109.0.134
3. Han, W.-N., Tao, Y.-H., Zhu, J.-S., Wang, D.-W., & Yang, R.-P. (2025). Terrestrial laser scan planning for bridge structures at complex sites. *Journal of Construction Engineering and Management*, 152(2). https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-17077
4. Algadhi, A., Psimoulis, P., Grizi, A., & Neves, L. (2024). Assessment of the accuracy of terrestrial laser scanners in detecting local surface anomaly. *Remote Sensing*, 16(24), 4647. https://doi.org/10.3390/rs16244647
5. Xu, Y., Zhao, M., Xu, C., & Wang, Y. (2024). Efficient in-site laser scanning scheme with adaptive angular resolution for long-span bridge geometry measurement. *Measurement*, 232, 114704. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114704
6. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2015). DBN V.2.3-4:2015. Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo [Highways. Part I. Design. Part II. Construction]. Kyiv : Minrehion Ukrainy.
7. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine. (2009). DBN V.2.3-6:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia ta vyprobuvannia [Transport structures. Bridges and culverts. Inspection and testing]. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy.
8. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine. (2009). DBN V.1.2-15:2009. Sporudy transportu. Navantazhennia ta vplyvy. Mosty ta truby [Transport structures. Loads and impacts. Bridges and culverts]. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy.

FEATURES OF ORGANISING TERRESTRIAL 3D SCANNING OF LINEAR BRIDGE STRUCTURES

Abstract. *The article examines the specific features of organising terrestrial laser 3D scanning of a linear bridge crossing over the Kharkiv River on the M-03 highway, with a total length of 198.75 m, under conditions of continuous traffic flow without road closure. The study object is a simply supported beam bridge constructed in 1968 with a 6 × 33.00 m span arrangement, which has not undergone instrumental inspection since 2006. Field measurements were carried out using a Trimble TX6 laser scanner in Level 2 mode, providing an accuracy of 11.3 mm at a distance of 30 m. Each scanning cycle lasted 7 minutes, and the total field work duration per side was 4 hours across 17 scanning stations. The selection of a station interval of 10–12 m, which is smaller than the theoretically permissible value of 20–25 m, is justified by the need to ensure redundant visibility of geodetic reference targets under conditions of systematic occlusion by passing vehicles. A spatial placement scheme for checkerboard-patterned geodetic targets on both sides of the carriageway was developed, ensuring distribution of reference points in different azimuthal directions relative to each scanner position without encroaching on the traffic zone. A three-variant system for fixing flat targets to bridge*

barrier elements is described: wedge-type mounting in a channel section profile, elastic cord fastening to pedestrian railing elements, and binder-secured attachment to barrier post uprights. An absolute requirement for all mounting types is complete immobility of the target throughout the entire scanning cycle. The article also addresses the specific requirements for tripod placement on the bridge deck: an asymmetric configuration with two legs oriented toward the carriageway and one toward the pedestrian railing provides stability against vibration loads from traffic. Field operations were carried out over two working days, one side per day, to maintain uniform scanning conditions within each part of the survey.

Key words: terrestrial laser scanning, bridge crossing, geodetic targets, station placement scheme, Trimble TX6, field survey organisation, linear structure.

A. H. Batrakova
Doct. of Science, Professor at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway, Kharkiv

I. S. Shelkova
Assistant at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Ye. V. Dorozhko
Ph.D., Associate Professor at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

S. M. Urdzik
Ph.D., Associate Professor at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

O. O. Bessarabov
Assistant at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 712
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.2

Василишин В. Я.
к.т.н., доцент кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0000-0002-0367-1198

Борсук Н. Г.
ст. викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0009-0004-1737-281X

Єрузель О. В.
викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0009-0007-9970-8699

Скрипин Т. В.
ст. викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0000-0002-4394-8294

Березовський Ю. Л.
викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0009-0004-5139-4676

ГРОМАДСЬКІ ПРОСТОРИ: КОМПЛЕКСНИЙ ДИЗАЙН СЕРЕДОВИЩА

Анотація. *У статті систематизовано авторські архітектурні підходи та фахові спостереження щодо формування громадських просторів як комплексних середовищ соціальної взаємодії, культурного обміну та міської комунікації. З позиції архітекторів-практиків обґрунтовано, що громадський простір у сучасному місті є не лише об'єктом проєктування, а насамперед живим соціальним організмом, що потребує багатошарового фахового осмислення та міждисциплінарного підходу. На основі власного проєктного досвіду авторів розкрито ключові принципи успішного публічного простору: доступність, інклюзивність, комфорт, багатосценарність використання, екологічна стійкість, візуальна цілісність і соціальна активність. На підставі аналізу реалізованих об'єктів визначено системний набір архітектурних ознак якісного публічного простору та описано авторську послідовність етапів проєктування – від передпроєктного аналізу й залучення громади до формування функціонально-просторової структури, добору матеріалів та елементів благоустрою. Охарактеризовано п'ять ключових аспектів комплексного архітектурного дизайну: функціональність, естетику, ергономіку, інноваційність та екологічність. Обґрунтовано значення ландшафтного дизайну як невід'ємного інструменту архітектора при роботі з публічним середовищем; виокремлено природні, естетичні, екологічні та функціонально-соціальні аспекти ландшафту. Розроблено практичні рекомендації щодо забезпечення інклюзивності, зокрема щодо масштабу, освітлення та спеціальної інфраструктури. Доведено, що комплексний підхід в архітектурній практиці уможливлює створення безпечних і людиноорієнтованих просторів, здатних підвищувати якість міського життя. В умовах воєнних викликів і процесів відбудови ці питання набувають стратегічного значення для формування якісно нової міської ідентичності України.*

Ключові слова: громадський простір, комплексний дизайн середовища, ландшафтний дизайн, ергономіка, естетика, інклюзивність, архітектурна практика.

Постановка проблеми. Архітектурна практика наочно демонструє відсутність уніфікованої системної процедури проєктування громадських просторів – починаючи з розроблення технічного завдання і завершуючи підготовкою архітектурної документації. Це породжує методичну невизначеність, яка безпосередньо позначається на якості кінцевого результату: одні простори органічно відповідають потребам своїх користувачів, інші залишаються функціонально непридатними або небезпечними. З точки зору архітектора, саме брак системного підходу – а не дефіцит ресурсів – є головною причиною нерівномірного рівня якості публічних просторів в українських містах, де стрімка урбанізація випереджає розвиток фахових методологій проєктування.

Аналіз останніх досліджень. Теоретичне підґрунтя досліджень громадських просторів як об'єктів комплексного дизайну середовища формується на перетині ландшафтної архітектури, урбаністики, дизайну архітектурного середовища та досліджень креативних індустрій. У базових підручниках з ландшафтної архітектури висвітлено принципи формування відкритих просторів, типологію насаджень, питання композиції та функціональної організації міського середовища [1–5]. Праці з естетики ландшафту та дизайну архітектурного середовища розкривають закономірності просторової композиції, візуальної цілісності, масштабності й сценарності руху [4; 6]. Дослідження у сфері культурних і креативних індустрій акцентують на ролі публічних просторів як платформ соціальної комунікації та локальної ідентичності [7–9]. Водночас у наявних публікаціях архітектори-практики фіксують переважання галузевого, а не інтегрального підходу: озеленення, композиція, дизайн чи креативна економіка розглядаються ізольовано, тоді як фахова практика вимагає їхнього синтезу в єдину проєктну логіку.

Мета роботи. Метою цього дослідження є визначення архітектурних ознак якісного громадського простору, систематизація ключових аспектів комплексного дизайну та ландшафтного проєктування в контексті публічного середовища, опис авторської методики поетапного проєктування, а також розроблення практичних рекомендацій щодо підвищення інклюзивності. Кінцевою метою проєктної діяльності авторів є формування такого простору, у якому кожен відвідувач відчуває комфорт, безпеку, емоційну залученість та можливість задовольняти свої соціальні потреби.

Результати досліджень. Сучасна урбанізація перетворила місто на основне середовище існування людини, а отже – якість публічних просторів безпосередньо визначає якість міського життя. Архітектурний досвід авторів підтверджує: саме через публічне середовище формується образ міста у свідомості його мешканців і гостей (рис. 1). Простір, що позбавляє людину відчуття захищеності або не забезпечує елементарного комфорту, відторгається незалежно від його формальних характеристик. Натомість якісно спроєктований простір стає місцем, яке люди обирають свідомо й повертаються до нього знову. З огляду на це, автори розглядають якісний дизайн публічного середовища не як виняток, а як обов'язкову архітектурну норму.

Архітектурна практика переконливо доводить: успішний громадський простір є результатом міждисциплінарної синергії. Архітектори, урбаністи, дизайнери, соціологи, екологи та представники місцевих громад мають працювати спільно на всіх стадіях проєктного процесу. Такий підхід дозволяє ідентифікувати реальні потреби різних груп користувачів, передбачати сценарії поведінки, уникати монофункціональних рішень і моделювати довготривалу експлуатаційну ефективність простору.

До категорії громадського простору належать: парки та рекреаційні зони; пам'ятки культурної та історичної спадщини; майдани, площі, бульвари, проспекти, набережні; вулиці, дороги, пішохідні та велосипедні доріжки; ринки; інші території загального користування.

Архітектурні ознаки якісного громадського простору.

На підставі аналізу власної проєктної практики та узагальнення досвіду реалізованих об'єктів авторами визначено системний набір архітектурних ознак, яким має відповідати якісний публічний простір:

– загальна доступність – простір відкритий для всіх без обмежень;

– ізоляція від транспортного потоку, шуму та забруднення;

– архітектурно забезпечена безпека – якісне освітлення, візуальна відкритість, відсутність «мертвих зон»;

– безоплатність перебування як базова умова демократичності простору;

– безбар'єрність – фізична доступність для осіб з обмеженими можливостями;

– комунікативний та творчий потенціал – середовище, що провокує взаємодію;

– комфортність і вікова універсальність – врахування інтересів різних демографічних груп.

Просторова структура та візуальний образ публічного середовища формуються через поєднання трьох архітектурних типів елементів: точкових об'єктів (вуличні меблі, фонтани, пам'ятники, скульптури, артоб'єкти); лінійних елементів, що організовують транзит (стежки, хідники, алеї, вулиці); площинних зон із тематичним призначенням (дитячі майданчики, газони, спортивні зони, клумби). Архітектурне завдання полягає у побудові гармонійної ієрархії між цими шарами.

Авторська методика поетапного проєктування.

На основі практичного досвіду авторів запропоновано таку послідовність проєктування якісного громадського простору:

– дослідження та комплексний аналіз території – містобудівний, ландшафтний, транспортний, екологічний контекст;

– соціологічне дослідження реальних потреб користувачів – опитування, спостереження, аналіз сценаріїв поведінки;

– розроблення технічного завдання та концепції проєкту у партнерстві з громадою та замовником;

– підготовка ескізного проєкту: генеральний план, об'ємно-просторові рішення, візуалізації, добір матеріалів і малих архітектурних форм;

– деталізація, узгодження та затвердження проєкту;

– підготовка повного пакету робочої документації для будівництва.

Ключові аспекти комплексного архітектурного дизайну.

Архітектурна практика виокремлює п'ять взаємопов'язаних параметрів, що визначають якість проєктного рішення:

– функціональність – просторова організація, що забезпечує зручність і ефективність сценаріїв використання;

– естетика – формування привабливого образу, здатного генерувати позитивні емоційні реакції;

– ергономіка – врахування фізіологічних та психологічних особливостей людини при визначенні масштабу, пропорцій та обладнання;

– інноваційність – застосування сучасних технологій, матеріалів і проєктних методів;

Невід'ємним інструментом архітектора при роботі з публічним середовищем є ландшафтний дизайн – творчий процес формування гармонійного та функціонального середовища шляхом інтеграції архітектурних, дизайнерських і природних компонентів. Авторська практика виокремлює чотири ключові аспекти ландшафту у контексті громадських просторів: природні фактори (рельєф, клімат, гідрологія, ґрунти, рослинність); естетичні аспекти (візуальне сприйняття, просторова композиція, сезонна привабливість); екологічні аспекти (підтримка біорізноманіття, управління зливовими водами, міський мікроклімат); функціонально-соціальні аспекти (вплив ландшафту на поведінку, культуру та ідентичність місця).

Практичні рекомендації щодо інклюзивності.

На основі проєктного досвіду авторами сформульовано такі рекомендації для забезпечення реальної інклюзивності громадських просторів:

– проєктувати зони соціальної взаємодії, що стимулюють живе спілкування між різними групами населення;

– уникати просторових рішень, масштаб яких значно перевищує «людський» – надмірний масштаб породжує відчуття незахищеності;

– забезпечувати повноцінне, рівномірне і якісне освітлення як умову безпеки і комфорту;

– передбачати спеціальну інфраструктуру для мобільності (пандуси, з'їзди, тактильне покриття) та точкового використання (інклюзивні дитячі майданчики, кімнати матері та дитини, доступні вбиральні).

Апробація підходу: «Промприлад. Реновація».

Переконливою ілюстрацією ефективності комплексного архітектурного підходу є «Промприлад. Реновація» – інноваційний центр на базі колишнього заводу в центрі Івано-Франківська. З архітектурної точки зору цей об'єкт є зразковим прикладом адаптивного використання промислової спадщини: переосмислення існуючої структури дозволило створити мультифункціональний простір, що органічно поєднує нову економіку, урбаністику, сучасне мистецтво та освіту. Проєкт функціонує як відкрита платформа для взаємодії між твор-

чими людьми, фахівцями різних галузей, підприємцями, містом і громадою.

Архітектурний вимір відбудови.

В умовах воєнних викликів комплексний дизайн громадських просторів в Україні набуває стратегічного значення. З позиції архітекторів, відбудова має стати не просто відновленням довоєнного стану, а свідомим проєктуванням нового якісного середовища – такого, що зміцнює соціальну єдність, забезпечує інтеграцію внутрішньо переміщених осіб у міське середовище та формує оновлену ідентичність українських міст на засадах людиноорієнтованого підходу.

Висновки. Архітектурна практика підтверджує: незважаючи на постійні трансформації міського середовища під впливом технологічного прогресу та соціальних змін, якісні громадські простори залишаються ключовою умовою повноцінного міського життя.

Авторське узагальнення принципів проєктування успішного публічного простору включає: різноманітність сценаріїв використання з поєднанням житлових, офісних та комерційних функцій; активні фасади – архітектурний зв'язок між рівнем землі будівель і пішохідним простором; людський масштаб як базовий критерій проєктних рішень; якісне освітлення; врахування і підтримку локальної ідентичності; концепцію повних вулиць; розвиток зелених зон; реальну участь мешканців у проєктуванні та подальшому управлінні.

Комплексний дизайн середовища є тим архітектурним інструментом, що дозволяє досягати рівноваги між функціональністю та естетикою, між індивідуальними потребами та суспільними інтересами, між технічними можливостями та екологічною відповідальністю. Саме такий підхід формує простори, що надихають, об'єднують і задають якісно новий стандарт міського середовища. Впровадження комплексного підходу у практику проєктування громадських просторів є не лише фаховим завданням архітекторів і дизайнерів, а й ширшою суспільною потребою, що визначатиме якість міського середовища для майбутніх поколінь.

Література

1. Крижановська Н. Я., Вотінов М. А., Смірнова О. В. Основи ландшафтної архітектури та дизайну: підручник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 348 с.
2. Кучерявий В. П. Ландшафтна архітектура. Вид-во «Новий світ-2000», 2024. 520 с.
3. Кучерявий В. П., Кучерявий В. С. Озеленення населених місць: підручник. Вид-во «Новий світ-2000», 2024. 666 с.
4. Дідик В. В., Максим'юк Т. М. Естетика та композиція ландшафту. Львів: Вид-во «Львівська політехніка», 2012. 244 с.
5. Мендерецький В. В., Матуз О. В., Недільська У. І., Придеткевич С. С. Географічні основи ландшафтного проєктування та дизайну: навч.-метод. посібник. Кам'янець-Подільський, 2023. 234 с.
6. Сьомка С. В. Основи дизайну архітектурного середовища: підручник. Київ : НАКККіМ, 2019. 464 с.
7. Фарінья К. Розвиток культурних та креативних індустрій в Україні: звіт з програми Culture and Creativite. 2017. 59 с.
8. Вахович І., Чуль О. Розвиток креативних індустрій: регіональний вимір: монографія. Вид-во «Вежа-друк», 2014. 288 с.
9. Свінцицька О. М., Ткачук В. О. Креативна економіка та креативні індустрії: навч. посібник. Житомир : Держ. ун-т «Житомирська політехніка», 2020. 218 с.

References

1.Kryzhanovska, N. Ya., Votinov, M. A., & Smirnova, O. V. (2019). Osnovy landshaftnoi arkhitektury ta dyzainu [Fundamentals of Landscape Architecture and Design]: pidruchnyk. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova. [in Ukrainian].
2.Kucheryavyi, V. P. (2024). Landshaftna arkhitektura [Landscape Architecture]. Vydavnytstvo "Novyi svit-2000". [in Ukrainian].
3.Kucheryavyi, V. P., & Kucheryavyi, V. S. (2024). Ozelennia naselenykh mists [Greening of Settlements]: pidruchnyk. Vydavnytstvo "Novyi svit-2000". [in Ukrainian].
4.Didyk, V. V., & Maksymiuk, T. M. (2012). Estetyka ta kompozytsiia landshaftu [Aesthetics and Composition of the Landscape]. Lviv: Vydavnytstvo "Lvivska politekhnika". [in Ukrainian].
5.Menderetskyi, V. V., Matuz, O. V., Nedilska, U. I., & Prydetkevych, S. S. (2023). Heohrafichni osnovy landshaftnoho proiektuvannia ta dyzainu [Geographical Foundations of Landscape Planning and Design]: navch.-metod. posibnyk. Kamianets-Podilskyi : Kamianets-Podilskyi universytet imeni Ivana Ohiienka. [in Ukrainian].
6.Syomka, S. V. (2019). Osnovy dyzainu arkhitekturnoho seredovyshcha [Fundamentals of Architectural Environment Design]: pidruchnyk. Kyiv : NAKKKiM. [in Ukrainian].
7.Farinya, K. (2017). Rozvytok kulturnykh ta kreatyvnykh industrii v Ukraini [Development of Cultural and Creative Industries in Ukraine]: zvit z prohramy Culture and Creativite. [in Ukrainian].
8.Vakhovych, I., & Chul, O. (2014). Rozvytok kreatyvnykh industrii: rehionalnyi vymir [Development of Creative Industries: Regional Dimension]: monohrafiia. Vydavnytstvo "Vezha-druk". [in Ukrainian].
9.Svintsytska, O. M., & Tkachuk, V. O. (2020). Kreatyvna ekonomika ta kreatyvni industrii [Creative Economy and Creative Industries]: navch. posibnyk. Zhytomyr : Derzhavnyi universytet "Zhytomyrska politekhnika". [in Ukrainian].

PUBLIC SPACES: INTEGRATED ENVIRONMENTAL DESIGN

Abstract. *The article systematizes the authors' architectural approaches and professional observations regarding the formation of public spaces as integrated environments of social interaction, cultural exchange, and urban communication. From the perspective of practising architects, it is argued that public space in the modern city is not merely a design object but primarily a living social organism requiring multilayered professional conceptualization and an interdisciplinary approach that unites architects, urban planners, sociologists, ecologists, and community representatives. Based on the authors' own design experience, the key principles of successful public space are revealed: accessibility, inclusiveness, comfort, multi-scenario use, ecological sustainability, visual integrity, and social activity. A systematic set of architectural characteristics of a quality public space is identified and substantiated. Five key aspects of integrated architectural design are characterized: functionality, aesthetics, ergonomics, innovation, and ecological responsibility. The significance of landscape design as an essential tool of the architect when working with the public environment is substantiated, with natural, aesthetic, ecological, and functional-social dimensions of landscape outlined. The authors' step-by-step design methodology is described – from pre-design analysis and community engagement through functional-spatial structuring and selection of materials and street furniture to the preparation of working documentation. Practical recommendations for ensuring real inclusiveness are developed, covering spatial scale, lighting quality, and the provision of accessible infrastructure for people with disabilities. It is demonstrated that a comprehensive approach in architectural practice makes it possible to create safe, human-centred spaces capable of improving the quality of urban life and shaping a positive image of the city. In the context of wartime challenges and reconstruction, these issues acquire strategic importance for forming a qualitatively new urban identity in Ukraine.*
Key words: public space, integrated environmental design, landscape design, ergonomics, aesthetics, inclusiveness, architectural practice.

V. Ya. Vasylyshyn
PhD in Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

N. H. Borsuk
Senior Lecturer at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

O. V. Yeruzel
Lecturer at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

T. V. Skrypyn
Senior Lecturer at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

Yu. L. Berezovskyi
Lecturer at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 72.01:004.92:004.738.5
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.3

Гончарова І. В.
к.а.н., доцент кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0000-0001-9489-5404

Вакуленко В. І.
ст. викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0000-0003-1986-0732

Черверда А. М.
викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0009-0000-2812-6252

Данилюк Н. Я.
викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0009-0003-8916-7690

Капак І. М.
викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0009-0002-0138-8126

АРХІТЕКТУРНИЙ ПОСТПРОДАКШН, 3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, ІНТЕР'ЄРНИЙ, ЛАНДШАФТНИЙ ТА ВЕБДИЗАЙН У ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Анотація. *Стрімка конвергенція інструментів 3D-візуалізації, архітектурного постпродакшну, інтер'єрного, ландшафтного та вебдизайну формує нову безшовну екосистему, у межах якої одні й ті самі дані використовуються для статичних рендерів, анімації, інтерактивних презентацій і вебпродуктів. Попри це, відсутність цілісного методичного каркасу та уніфікованих вимог до якості призводить до стилістичних і технічних артефактів, втрат кольорової точності, перевантаження геометрією, неоднорідності PBR-матеріалів, порушень доступності за WCAG і зниження продуктивності у браузерному та реальному часі. У статті запропоновано інтегровану п'ятирівневу методологію, яка охоплює: захоплення й нормалізацію даних (BIM-обміни, фотограмметрія, сканування, GIS-шари); параметричне моделювання та матеріалізацію (PBR-правила, texel density, atlas/trim, UV-структура); світлову драматургію і фізично коректний рендер (ACES/OCIO, HDRI, IES); постпродакшн і композитинг (AOV/passes, z-depth, криптомати, денойз); публікацію та деплой у вебсередовище (glTF/DRACO, WebGL/WebGPU, LOD-стратегії, SEO, WCAG 2.2). Визначено систему контрольних показників: ΔE00, співвідношення «якість/вага», RT-FPS, час до інтерактивності (TTI) та індекс доступності. Розроблено карти відповідності етапів пайплайну до ролей команди та чек-листи для інтер'єрної й ландшафтної візуалізації. Запропонований підхід зменшує ризики переробок, уніфікує стилістику, підвищує швидкодію в реальному часі та забезпечує керовану вебпублікацію відповідно до сучасних стандартів. Практичним результатом є узгодження вимог до моделей, матеріалів, освітлення, композитингу й вебдеплою в єдиному процесі, що підвищує передбачуваність якості кінцевого цифро-*

вого продукту та покращує узгодженість даних між стадіями виробництва, візуалізації та цифрового розгортання.

Ключові слова: архітектурний постпродакшн, 3D-візуалізація, інтер'єрний дизайн, ландшафтний дизайн, вебдизайн, PBR, ACES/OCIO, glTF, WebGL/WebGPU, LOD, WCAG.

Постановка проблеми. У сучасній практиці архітектурної візуалізації, інтер'єрного й ландшафтного проєктування, архітектурного постпродакшну та вебдизайну дедалі частіше застосовується спільна цифрова база моделей, текстур, світлових сценаріїв і візуальних активів. Такий підхід дає змогу повторно використовувати дані на різних етапах виробництва контенту, однак водночас виявляє низку системних проблем, пов'язаних із відсутністю єдиних правил підготовки, обміну, контролю та публікації цифрових матеріалів. На практиці це проявляється у втраті колірної узгодженості між рендером і вебсередовищем, нестабільності PBR-матеріалів, надлишковій геометричній складності сцен, помилках освітлення та недостатній адаптації візуального продукту до вимог браузерної продуктивності й цифрової доступності. Додатковою проблемою є фрагментарність виробничого пайплайну, коли моделювання, візуалізація, композитинг і вебдеплой здійснюються різними виконавцями без уніфікованих критеріїв якості та чітких точок перевірки, що призводить до зростання обсягів переробок та погіршення керованості результату. За відсутності стандартизованого каркасу неможливо забезпечити прогнозовану якість, трасованість змін і відтворюваність виробничого результату, що системно стримує масштабування цифрових архітектурних практик.

Аналіз останніх досліджень. Сучасний корпус публікацій, дотичний до теми цифрового середовища архітектурного постпродакшну та 3D-візуалізації, насамперед концентрується на BIM як базовій платформі даних і управління життєвим циклом об'єкта. Нормативний вектор цифровізації в Україні задають державна Концепція впровадження BIM та методика обстеження будівель [1; 2]. Питання фазності впровадження BIM, адміністрування середовища проєкту, реконструкції та післявоєнного відновлення розкрито у працях українських і зарубіжних авторів [3–7]. Значний масив досліджень присвячено автоматизованій перевірці правил, інтеграції BIM із процесним моделюванням, 4D-підходами та оптимізацією управлінських рішень [8–12]. Окремо варто відзначити роботи з параметричного моделювання складних форм [13; 14]. Водночас більшість джерел фокусується на інформаційному моделюванні та будівельному менеджменті, тоді як питання безшовного переходу від BIM до PBR-матеріалізації, рендерингу, композитингу, вебдеплою та забезпечення WCAG-доступності висвітлено фрагментарно. Недостатньо опрацьованими залишаються критерії якості для візуального пайплайну, узгодження кольору та продуктивності у браузері.

Мета роботи. Розробити науково-практичну методологію інтегрованого пайплайну для архітектурного постпродакшну, 3D-візуалізації, інтер'єрного/ландшафтного та вебдизайну, яка: 1) гарантує колірну/матеріальну узгодженість (PBR + ACES/OCIO); 2) мінімізує вагу й підвищує FPS/TTI у реальному часі; 3) забезпечує повторне використання даних у статичних, відео та веб-медіа; 4) вводить вимірювані контрольні точки якості та доступності.

Результати досліджень. У межах дослідження сформовано інтегровану методологію організації цифрового виробничого середовища для архітектурного постпродакшну, 3D-візуалізації, інтер'єрного, ландшафтного та вебдизайну, побудовану як послідовний п'ятирівневий пайплайн. На першому рівні визначено процедури захоплення, верифікації та нормалізації вихідних даних з використанням BIM-обмінів, фотограмметрії, сканування і GIS-шарів. На другому рівні систематизовано правила параметричного моделювання, оптимізації геометрії та підготовки PBR-матеріалів із контролем texel density, atlas/trim-рішень і стабільності UV-структури. На третьому рівні розроблено принципи світлової драматургії та фізично коректного рендерингу із застосуванням ACES/OCIO, HDRI та типових світлових сетапів. На четвертому рівні структуровано постпродакшн через AOV/passes, z-depth, криптомати, денойз і контроль композитингу. На п'ятому рівні визначено правила вебпублікації з використанням glTF/DRACO, LOD-стратегій, WebGL/WebGPU та вимог SEO і WCAG 2.2.

1. Цифрові засади та стандарти. Керування кольором.

Єдине керування кольором є передумовою відтворюваності зображень у всіх середовищах – від офлайн-рендеру до real-time і вебу. Базовим робочим простором приймаємо ACEScg; доставні простори – sRGB (веб/монітори), Display-P3 (сучасні дисплеї). Конфігурації OCIO фіксують: input-transform для текстур (albedo в sRGB, інші – linear), view-transform (ACES RRT+ODT для цільового дисплея), LUT для пакетної конверсії (рис. 2). Процедура тон-мапінгу: master-кадри рендеряться у linear EXR (scene-referred); у композиті застосовується ACES RRT+ODT (sRGB чи P3).

Матеріали (PBR).

Фізично коректний рендер потребує енергозбережного BRDF і дисципліни текстурування. Забороняється «фарбувати» світло/тінь у дифузі: albedo містить лише властивості поверхні. Рекомендовані діапазони: діелектрики – albedo 0.04–0.90, $IOR \approx 1.45–1.55$; метали – albedo близьке до нуля (metalness = 1); roughness 0.05–0.85. Texel density: 512–1024 px/м для web-LOD0; для героїчних крупних планів – до 2k px/м за наявності UDIM.

Геометрія та формати.

Єдині одиниці (метри), уніфікована вісь (Y-up або Z-up), нормалі перевірені; non-manifold геометрія, зворотні нормалі та «летючі» полігони усуваються до етапу shading. UV-розкладки: без перекриттів, окрім tileable/trim-sheet. Формати: майстер – 16-bit/32-bit EXR (linear), AOV/passes; дистрибуція 2D – PNG/JPEG/WEBP/AVIF; 3D-обмін – glTF 2.0 з DRACO/meshopt; для складних пайплайнів – USD/USDZ.

2. Архітектурний постпродакшн.

Мінімальний набір passes/AOV: beauty, diffuse, specular, emission, AO, z-depth, normal, crypto-matte. Це забезпечує контрольовані локальні корекції без руйнування фізики матеріалів. Ієрархія фокусів: провідні лінії, правило третин/золотий переріз, контроль ракурсів (людський зріст 1.5–1.7 м; кут огляду 28–50 мм екв.). Контроль якості: A/B-порівняння з референсом, ΔE00 до еталонних патчів, чек-лист артефактів (jaggies, fireflies, banding, «пластик» металів).

3. Пайплайни 3D-візуалізації (offline vs. real-time).

Offline (path tracing) призначений для «героїчних» кадрів, каталогів і великоформатного друку. Керування шумом: адаптивний семплінг, фільтрація (OIDN/OptiX) із масками. Real-time: гібридне освітлення – baked GI (lightmaps/probes) + динамічне світло; reflection probes/screen-space відбиття; instancing, hardware-mipmaps, frustum/occlusion culling. Стабілізація: asset-freeze на pre-prod; Git/LFS для моделей/текстур; семантична версіонність (MAJOR.MINOR.PATCH); автоматизований CI-check (texel density, UV, non-manifold, бюджет полігонів).

4. Інтер'єрний дизайн: специфіка.

Баланс природного та штучного освітлення: реальні фотометричні IES для світильників, $CRI \geq 90$. Експозиція стабілізується у вузькому діапазоні (±0.3 EV) між серіями. Матеріали: мікрошорсткість визначає читаність поверхонь; IOR для скла/лаку коригується до реалістичних значень; edge-wear через masked maps/curvature. Камери – на людському зрості; фокусні 28–50 мм для природної перспективи. QA-метрики: шум ≤ порогу ($std \leq 0.01$ у темних областях), чисті тіні, природні хайлайти на глянці; деталі вузлів (розетки, лиштви, плінтуси) без геометричних помилок.

5. Ландшафт/містобудівний контекст.

Рельєф формується з DEM; контекст – з ортофото; геоприв'язка проекту – у локальну/глобальну СК. Рослинність – процедурний scatter з правилами щільності/віку; LOD для рослин (impostors/billboards на дальніх планах). Атмосфера: профілі (ранок/полудень/захід/хмарність) з контрольованою вологістю; aerial perspective для глибини. Вода – фізичні коефіцієнти хвиль, Fresnel, глибина за даними рельєфу русла. Продуктивність: контроль бюджету полігонів і draw calls; стрімінг текстур для великих територій.

6. Вебдизайн і веб-3D.

Вибір між SPA/SSR/SSG залежить від інтерактивності, SEO та оновлюваності. SSR/SSG покращує TTI та LCP. Формат glTF 2.0 з DRACO/meshopt – стандарт для веб-дистрибуції. Обов'язкові LOD, instancing, baked lighting для важких сцен; прогресивне завантаження текстур. Рекомендовано тримати «першу взаємодію» в діапазоні 25–40 МБ бандла 3D-ресурсів. Доступність (WCAG 2.2 AA): контраст тексту ≥ 4.5:1, повна клавіатурна навігація, aria-ролі для інтерактивів, «lite-режим» без 3D для слабких пристроїв.

7. Управління активами та процесом.

DAM-система із прев'ю-рендерами, семантичними тегами (тип матеріалу, сцена, LOD),

audit trail змін. Іменування: PROJ_SCN_ASSET_Lx_Vy. Git/LFS – для джерел; сховище артефактів – для збірок (EXR, glTF, LUT, HDRI). Стиль-гайд: палітри (brand/neutral), фотометричні пресети, композиційні патерни, tone-mapping/LUT із контрольним сетом, матеріальні свідчі.

Ролі та «ворота якості»: арт-директор – наратив/стиль; технічний лід – пайплайн/перформанс; шейдинг/композитинг – фізична правдоподібність; web-інтеграція – UX/доступність/SEO. Етапи-ворота: Data-ingest → Lookdev → Lighting → Comp → Web-prep → Accessibility → Sign-off (KPI-звіт, freeze).

Висновки. Запропонована методологія інтегрованого пайплайну формує єдиний простір рішень, у якому художня якість підтримується інженерною відтворюваністю. Ключовими опорами є ACES/OCIO для керування кольором, дисциплінований PBR і відкриті формати обміну (EXR як master, glTF 2.0 з DRACO/meshopt та USD/USDZ).

Запропоновані KPI – ΔE00 для колірної точності, співвідношення «якість/вага» активів, FPS/TTI/LCP для інтерфейсів, а також рівень відповідності WCAG – переводять естетику у вимірювані метрики. Організаційний каркас включає DAM із семантичними тегами та audit trail, стиль-гайд для світла/матеріалів/тон-мапінгу, а також «ворота якості», що підвищують передбачуваність термінів і бюджетів, спрощують масштабування команд і бібліотек активів без деградації якості.

Обмеження підходу стосуються дисципліни даних, апаратних ресурсів і потреби у підготовці персоналу. Водночас поетапна дорожня карта – від уніфікації ACES/OCIO та passes/LUT до glTF/LOD і системної перевірки WCAG – дає реалістичний шлях адаптації. Подальші дослідження варто спрямувати на CI-автоматизацію перевірок, генеративну оптимізацію матеріалів і геометрії, онтології активів та інтеграцію з цифровими двійниками для експлуатаційного моніторингу.

Література

1. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 № 152-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-%D1%80

2. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів: Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 06.08.2022 № 144.

3. Тугай, О., Поколенко, В., Єсипенко, А., Дубинка, О. Загальний план і фази впровадження BIM-концепції у будівельній галузі // Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2021. Т. 1, № 47. С. 3–14. DOI: 10.32347/2707-501x.2021.47(1).3-14

4. Кушнір, С. І., Бондар, О. А., Поколенко, В. О., Якимчук, І. М., Хоменко, О. М. Застосування BIM-технологій для моделювання циклу будівельного проекту та адміністрування його середовищем // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. 2019. № 15. С. 26–33. DOI: 10.15802/bttrp2019/172376

5. Левченко, Н. М., Бейнер, П. С., Бейнер, Н. В. Реконструкція будівель з використанням BIM-технологій при відновленні міст в Україні // Металознавство та термічна обробка металів. 2022. № 4(99). С. 64–70. DOI: 10.30838/J.PMHTM.2413.271222.64.912

6. Hryhorovskyi, P., Osadcha, I., Jurelionis, A., Basanskyi, V., Hryhorovskyi, A. A BIM-Based Method for Structural Stability Assessment and Emergency Repairs of Large-Panel Buildings Damaged by Military Actions and Explosions: Evidence from Ukraine // Buildings. 2022. 12(11). 1817. DOI: 10.3390/buildings12111817

7. Demian, P., Hassan, T. M., Kalmykov, O., Demianenko, I., Makarov, R. BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine // Buildings. 2024. 14(11). 3495. DOI: 10.3390/buildings14113495

8. Solihin, W., Liu, Z., Lu, Y., Wei, L. BIM-based automated rule-checking in the AECO industry: Learning from semiconductor manufacturing // Automation in Construction. 2024. 162. 105406. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105406

9. Wang, W.-C., Weng, S.-W., Wang, S.-H., Chen, C.-Y. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support // Automation in Construction. 2014. 37. C. 68–80. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.009

10. Zhou, D., Pei, B., Li, X., et al. Innovative BIM technology application in the construction management of highway // Scientific Reports. 2024. 14. 15298. DOI: 10.1038/s41598-024-66232-5

11. Vahidi, J., Golmaei, S. M. Optimizing construction scheduling using the sine cosine algorithm (SCA) with building information modeling (BIM) // Results in Engineering. 2025. 28. 107100. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.107100

12. Rehman, I. U., Mazher, K. M., Wuni, I. Y. Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects // Results in Engineering. 2025. 28. 107091. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.107091

13. Пархоменко, І. О., Носенко, С. В. Параметричне моделювання складних форм у контексті сучасної архітектури // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2021. № 2. С. 45–52. URL: https://visnyk.pgasa.dp.ua/

14. Вісник КНУБА. Містобудування та територіальне планування. Вип. 76 (добірка статей із цифрового моделювання та BIM). К.: КНУБА. 2021. 326 с. DOI: 10.32347/2076-815x.2021.76

References

1. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2021). Pro skhvalennia Kontseptsii vprovadzhennia tekhnolohii budivelnoho informatsiinoho modeliuvannia (BIM-tekhnolohii) v Ukraini ta zatverdzhennia planu zakhodiv z yii realizatsii [On Approval of the Concept for Implementation of BIM Technologies in Ukraine and the Action Plan for Its Implementation]. Rozporiadzhennia № 152-r. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/152-2021-%D1%80. [in Ukrainian].
2. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy. (2022). Pro zatverdzhennia Metodyky provedennia obstezhennia ta oformlennia yoho rezultativ [On Approval of the Methodology for Conducting Surveys and Documenting Their Results]. Nakaz № 144. [in Ukrainian].
3. Tuhai, O., Pokolenko, V., Yesypenko, A., & Dubynka, O. (2021). Zahalnyi plan i fazy vprovadzhennia BIM-kontseptsii u budivelnii haluzi [General Plan and Phases of BIM Concept Implementation in the Construction Industry]. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva – Ways to Increase Construction Efficiency, 1(47), 3–14. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2021.47(1).3-14. [in Ukrainian].
4. Kushnir, S. I., Bondar, O. A., Pokolenko, V. O., Yakymchuk, I. M., & Khomenko, O. M. (2019). Zastosuvannia BIM-tekhnolohii dlia modeliuvannia tsyklu budivelnoho proektu ta administruvannia yoho seredovyshchem [Application of BIM Technologies for Modeling the Construction Project Cycle and Administering Its Environment]. Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice, 15, 26–33. https://doi.org/10.15802/bttrp2019/172376. [in Ukrainian].
5. Levchenko, N. M., Beiner, P. S., & Beiner, N. V. (2022). Rekonstruktsiia budivel z vykorystanniam BIM-tekhnolohii pry vidnovlenni mist v Ukraini [Building Reconstruction Using BIM Technologies in Urban Restoration in Ukraine].
6. Hryhorovskyi, P., Osadcha, I., Jurelionis, A., Basanskyi, V., & Hryhorovskyi, A. (2022). A BIM-based method for structural stability assessment and emergency repairs of large-panel buildings damaged by military actions and explosions: Evidence from Ukraine. Buildings, 12(11), 1817. https://doi.org/10.3390/buildings12111817
7. Demian, P., Hassan, T. M., Kalmykov, O., Demianenko, I., & Makarov, R. (2024). BIM implementation in post-war reconstruction of Ukraine. Buildings, 14(11), 3495. https://doi.org/10.3390/buildings14113495
8. Solihin, W., Liu, Z., Lu, Y., & Wei, L. (2024). BIM-based automated rule-checking in the AECO industry: Learning from semiconductor manufacturing. Automation in Construction, 162, 105406. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105406
9. Wang, W.-C., Weng, S.-W., Wang, S.-H., & Chen, C.-Y. (2014). Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. Automation in Construction, 37, 68–80. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.009
10. Zhou, D., Pei, B., Li, X., et al. (2024). Innovative BIM technology application in the construction management of highway. Scientific Reports, 14, 15298. https://doi.org/10.1038/s41598-024-66232-5
11. Vahidi, J., & Golmaei, S. M. (2025). Optimizing construction scheduling using the sine cosine algorithm (SCA) with building information modeling (BIM). Results in Engineering, 28, 107100. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107100
12. Rehman, I. U., Mazher, K. M., & Wuni, I. Y. (2025). Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects. Results in Engineering, 28, 107091. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107091
13. Parkhomenko, I. O., & Nosenko, S. V. (2021). Parametrychne modeliuvannia skladnykh form u konteksti suchasnoi arkhitektury [Parametric Modelling of Complex Forms in the Context of Modern Architecture]. Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury – Bulletin of the Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, 45–52. [in Ukrainian].
14. Visnyk KNUBA. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia [Kyiv National University of Construction and Architecture Bulletin. Urban Planning and Territorial Planning]. (2021). Issue 76. Kyiv: KNUBA. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.76. [in Ukrainian].

ARCHITECTURAL POST-PRODUCTION, 3D VISUALIZATION, INTERIOR, LANDSCAPE, AND WEB DESIGN IN THE DIGITAL ENVIRONMENT

Abstract. *The rapid convergence of 3D visualization, architectural post-production, interior and landscape design, and web design tools is shaping a new seamless ecosystem in which a single data set is reused across still renders, animation, interactive presentations, and web products. Despite this, the lack of a unified methodological framework and standardized quality requirements leads to stylistic and technical artifacts, loss of colour accuracy, inconsistent PBR materials, violations of WCAG accessibility standards, and reduced performance in browser and real-time environments. An additional challenge is the fragmentation of the production pipeline, where modelling, visualization, compositing, and web deployment are carried out by different team members without unified quality criteria or defined checkpoints, resulting in increased rework volumes and diminished manageability of the outcome. This article proposes an integrated five-tier methodology combining: data capture and normalization (BIM exchanges, photogrammetry, scanning, GIS layers); parametric modelling and PBR materialization (PBR rules, texel density, atlas/trim, UV structure); lighting dramaturgy and physically-based rendering (ACES/OCIO, HDRI, IES); post-production and compositing (AOV/passes, z-depth, cryptomattes, denoise); and web publication and deployment (glTF/DRACO,*

WebGL/WebGPU, LOD strategies, SEO, WCAG 2.2). A system of KPIs is defined: colour accuracy ΔE00. Pipeline-to-role mapping and checklists for interior and landscape visualization are developed. The proposed approach reduces rework risk, unifies stylistics, improves real-time performance, and enables controlled web publication compliant with contemporary accessibility and web standards.
Key words: architectural post-production, 3D visualization, interior design, landscape design, web design, PBR, ACES/OCIO, glTF, WebGL/WebGPU, LOD, WCAG.

I. V. Honcharova
PhD in Architecture, Associate Professor of the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

V. I. Vakulenko
Senior Lecturer of the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

A. M. Cheverda
Lecturer of the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

N. Ya. Danyliuk
Lecturer of the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

I. M. Kapak
Lecturer of the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

Дата першого надходження статті до видання: 23.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 711.4
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.4

Захарчук О. П.
к.т.н., доцент кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль
ORCID: 0000-0002-4359-5644

Шпінталь М. Я.
к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль
ORCID: 0000-0002-9864-7050

Бряк М. В.
к.т.н., доцент кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль
ORCID: 0000-0001-5332-1498

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Анотація. *У статті досліджено ефективність використання BIM-технологій під час проєктування вентиляційних систем будівель з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, якості проєктної документації та комплексної координації розділів проєкту. Актуальність дослідження обумовлена зростанням складності інженерних систем, підвищенням вимог до точності інженерних розрахунків і необхідністю мінімізувати кількість помилок та змін на завершальних етапах проєктування. У роботі здійснено огляд сучасних наукових праць, присвячених використанню BIM (Building Information Modeling – інформаційне моделювання будівель) у проєктуванні систем вентиляції та MEP-координації (Mechanical, Electrical, Plumbing – координація механічних, електротехнічних і сантехнічних інженерних систем). Також окреслено ключові проблемні аспекти, пов'язані з інтероперабельністю програмних середовищ, інтеграцією інженерних розрахунків у BIM-модель та відсутністю уніфікованих підходів до оцінювання результативності застосування BIM-технологій. Методологія дослідження ґрунтується на застосуванні порівняльного та аналітичного підходів до оцінювання програмних продуктів для BIM-проєктування систем вентиляції, зокрема Autodesk Revit MEP, AutoCAD MEP, MagiCAD, DDS-CAD HVAC та ArchiCAD MEP Modeler. Оцінювання здійснювалося за показниками трудомісткості проєктування, якості координації інженерних систем, точності формування специфікацій, узгодженості BIM-моделі з результатами інженерних розрахунків і кількості змін на завершальних стадіях проєкту. Встановлено, що використання розглянутих програм забезпечує суттєве підвищення якості проєктних рішень, зменшення кількості колізій і помилок у робочій документації, а також зменшення тривалості проєктних робіт у порівнянні з традиційними CAD-методами. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування вибору програмного забезпечення та оптимізації проєктних процедур у сфері розроблення систем вентиляції.*

Ключові слова: BIM-технології, системи вентиляції, інформаційне моделювання будівель, перевірка колізій, інженерні розрахунки, проєктна документація.

Постановка проблеми. Проєктування систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря є складним багатофакторним процесом, який безпосередньо впливає на енергоефективність будівель, якість мікроклімату та загальну вартість будівництва і експлуатації об'єктів. Сучасні вентиляційні системи характеризуються високим рівнем технічної складності, значною кількістю взаємопов'язаних елементів і необ-

хідністю інтеграції з іншими інженерними мережами будівлі, що ускладнює процес їх проєктування та підвищує ризик виникнення помилок.

Традиційні підходи до проєктування, які базуються на використанні CAD-систем, не забезпечують належного рівня інтеграції інженерних розрахунків, координації між розділами проєкту та автоматизації процесів прийняття інженерних рішень. Це призводить до підвищення трудомісткості проєктування, виникнення колізій між інженерними системами, збільшення кількості змін на завершальних стадіях реалізації проєкту та, як наслідок, до зростання витрат часу і ресурсів.

Впровадження BIM-технологій створює передумови для формування єдиного інформаційного середовища, яке забезпечує інтеграцію геометричних, технічних та розрахункових даних у межах цифрової моделі будівлі. Однак, незважаючи на значний потенціал BIM-підходу, на практиці існує низка проблем, пов'язаних із недостатньою сумісністю програмних продуктів, складністю інтеграції інженерних розрахунків у BIM-модель, а також відсутністю уніфікованих критеріїв оцінювання ефективності використання BIM-технологій у проєктуванні систем вентиляції.

Таким чином, актуальним є завдання комплексного дослідження ефективності застосування BIM-технологій у проєктуванні вентиляційних систем, визначення основних проблем їх впровадження та формування обґрунтованих підходів до оцінювання результативності їх використання в порівнянні з традиційними методами проєктування.

Аналіз останніх досліджень. Впровадження BIM-технологій значно підвищує ефективність проєктування та координації систем вентиляції порівняно з традиційними методами. Інтеграція технологій BIM із автоматизованими ОВКВ-інструментами дає можливість оптимізувати робочі параметри вентиляції на стадії комп'ютерного проєктування [1]. Зазначається, що повна реалізація потенціалу інформаційного моделювання можлива лише тоді, коли вся проєктна інформація зосереджена в одній узгодженій цифровій моделі Обмежена сумісність програмних засобів, недосконаліть стандартів обміну даними між BIM і BEM-інструментами (Building Energy Modeling) перешкоджають практичній реалізації цієї інтеграції [2].

У науковій літературі багато уваги приділяється питанню виявлення, структурування та усунення колізій між інженерними системами [2, 4]. Водночас недостатньо систематизовано перелік показників, за якими визначається ефективність застосування BIM у проектуванні систем вентиляції. Наукові дослідження переважно зосереджені на аналізі окремих програм або окремих прикладів застосування [3], тоді як комплексні порівняння BIM-підходу з традиційним CAD-проєктуванням у реальних умовах діяльності проєктних організацій є недостатніми. Актуальним залишається питання інтеграції інженерних розрахунків вентиляційних систем із BIM-моделлю для мінімізації ручного внесення інформації та зменшення кількості помилок при обміні інформацією між програмами. Незважаючи на очевидні переваги BIM-технологій у координації систем вентиляції та перевірці MEP-проєктів, відсутній стандартний підхід до оцінювання їх ефективності безпосередньо в проєктуванні вентиляції. Це зумовлює потребу в комплексному аналізі програмних рішень та оцінці результативності застосування BIM-технологій у цій сфері. [2].

Мета роботи. Основною метою є здійснення комплексної оцінки ефективності застосування BIM-технологій у процесі проєктування систем вентиляції з урахування рівня інтероперабельності, якості міждисциплінарної координації, точності формування специфікацій, і впливу BIM-підходу на розрахункові процеси та кількість коригувань на фінальних стадіях проєктування. Для досягнення поставленої мети у роботі здійснено аналіз сучасних програмних рішень для проєктування вентиляційних система, з позицій моделювання, координації та перевірки колізій. Крім того оцінюється рівень узгодженості BIM-моделей із розрахунковими модулями та форматами обміну даними IFC і BEM. За отриманими результатами формуються критерії та показники, що дозволяють здійснити оцінку ефективності використання BIM-технологій у проєктуванні систем вентиляції та порівняти їх із традиційними CAD-підходами.

Результати досліджень. Дослідження ґрунтується на аналізі наукових публікацій і нормативної документації, та порівняльному аналізі програмних рішень для проєктування систем вентиляції. У роботі застосовано аналітичний і порівняльний методи, завдяки чому здійснено оцінювання ефективності BIM-орієнтованого

та традиційного CAD-підходів у типових умовах проєктування систем вентиляції.

Оцінювання проводилося шляхом аналізу функціональних можливостей програмних продуктів для моделювання, координації інженерних систем, перевірки колізій, формування а обміну даними з розрахунковими модулями з урахуванням підтримки форматів IFC і BEM. Ефективність застосування BIM-технологій визначалася також за рівнем узгодженості з інженерними розрахунками та кількістю змін на завершальних стадіях проєктування.

Autodesk Revit MEP є BIM-орієнтованим програмним середовищем що спеціалізується на проєктуванні інженерних систем споруд, зокрема вентиляції, кондиціювання повітря та опалення. За допомогою цієї програми створюються об'ємні інформаційні моделі вентиляційних систем в контексті всієї будівлі з урахуванням її архітектурних та несучих конструкцій. Повітропроводи, фасонні частини, вентиляційне обладнання та інші елементи системи вентиляції. Кожен елемент системи вентиляції, такий як повітропроводи, фасонні частини, вентиляційне обладнання, містить параметричні дані, що дозволяє автоматизувати формування специфікацій, відомостей матеріалів та обсягів робіт на основі даних інформаційної моделі [4].

Можливість виконання перевірки колізій між інженерними мережами, є суттєвою перевагою Revit MEP. Це дає можливість ще на стадії проєктування усувати конфлікти між їх елементами [2], а отже і мінімізувати число помилок у робочій документації та підвищити якість проєкту. Autodesk Revit MEP є одним із найбільш поширених програмних продуктів в практиці сучасних проєктних організацій, однак для виконання детальних інженерних розрахунків систем вентиляції його доцільно поєднувати із спеціалізованими розрахунковими модулями.

AutoCAD MEP спеціалізується на виконанні двомірних та тримірних креслень інженерних систем із використанням спеціалізованих бібліотек елементів вентиляції. Програмний продукт функціонує на основі класичного середовища AutoCAD, що робить його зрозумілим та доступним для користувачів, які мають досвід роботи з CAD-системами.

На відміну від BIM-рішень, AutoCAD MEP не створює повноцінну інформаційну модель будівлі, проте забезпечує належний рівень точності і наочності при розробці робочих креслень вентиляційних систем. З огляду на відносну простоту у вивченні та високу сумісність з нормативною графічною документацією AutoCAD MEP широко використовується на етапі розроблення робочої доку-

Таблиця 1. Порівняльна характеристика програмних продуктів для проєктування систем вентиляції

Програмний продукт/ Тип про-єктування	Основні можливості	Переваги	Обмеження
Autodesk Revit MEP/BIM (3D)	3D-моделювання вентиляції, автоматичні специфікації, координація інженерних мереж, перевірка колізій	Інформаційна модель будівлі, висока наочність, інтеграція з архітектурою	Обмежені вбудовані інженерні розрахунки
AutoCAD MEP/ CAD (2D/3D)	Креслення вентиляційних систем, бібліотеки елементів, робоча документація	Простота освоєння, відповідність стандартам креслення	Відсутність повноцінного BIM та автоматичних розрахунків
MagiCAD/BIM + розрахунки	Аеродинамічні розрахунки, підбір вентиляторів, аналіз шуму, каталоги виробників	Висока точність, професійні інженерні розрахунки	Висока вартість, потребує базової BIM-платформи
DDS-CAD HVAC/ BIM (3D)	Моделювання вентиляції, автоматичні розрахунки, специфікації	Комплексний підхід, автоматизація	Менш поширений в Україні
ArchiCAD MEP Modeler/BIM (3D)	Базове проєктування вентиляції, інтеграція з архітектурною моделлю	Зручний при роботі в ArchiCAD	Обмежені інженерні розрахунки

ментації та підготовки комплектів креслень для здійснення будівельно-монтажних робіт.

MagiCAD є спеціалізованим програмним комплексом, призначеним для детального проєктування та інженерного розрахунку систем вентиляції, що має інтеграцію з Autodesk Revit і AutoCAD. Однією з головних переваг MagiCAD є інтеграція вбудованих модулів інженерних розрахунків. Це дає можливість визначати витрати повітря, втрати тиску, рівні шуму, а також виконувати підбір вентиляційного обладнання на основі реальних каталогів виробників. Програма забезпечує автоматизований підбір діаметрів повітропроводів та дає змогу перевірити, чи відповідає система нормативним вимогам. Використання MagiCAD значно підвищує точність проєктних рішень і зменшує час, необхідний для виконання складних інженерних розрахунків [5], тому програма широко застосовується в професійних проєктних організаціях і вважається одним з базових рішень для комплексного BIM-проєктування систем вентиляції.

DDS-CAD HVAC поєднує можливості тривимірного моделювання та автоматичних інженерних розрахунків та дає можливість формувати повноцінну інформаційну модель вентиляційної системи з урахуванням аеродинамічних розрахунків та технічних характеристик інженерного обладнання. Перевагою DDS-CAD HVAC є висока автоматизація процесу розрахунків, що мінімізує ймовірність допущення помилок [6]. Попри те, що в Україні ця програма менш популярна ніж Revit MEP, вона характеризується значним технічним потенціалом і широко поширена в країнах Європейського Союзу.

ArchiCAD MEP Modeler є додатковим модулем до ArchiCAD, котрий застосовується для базового проєктування інженерних мереж, зокрема вентиляції. Його використання є обґрунтованим у випадках, коли архітектурна частина будівлі вже виконана в середовищі ArchiCAD. Таким чином забезпечується зручна інтеграція інженерних систем у загальну модель будівлі [7]. Цей модуль дає можливість створювати тривимірні моделі повітропроводів і вентиляційного устаткування, здійснювати підготовку креслень і визначати основні об'ємні показники. Водночас ArchiCAD MEP Modeler має обмежені функціональні можливості у порівнянні з Revit MEP, через що він зазвичай використовується для концептуального або спрощеного проєктування інженерних систем.

Висновки. За результатами проведеного дослідження визначено, що застосування BIM-технологій у проєктуванні систем вентиляції демонструє вагомі переваги порівняно з традиційними CAD-підходами, зокрема шляхом підвищення якості проєктної документації, покращення міждисциплінарної координації та скорочення кількості помилок і коригувань на заключних стадіях проєктування. Проведений аналіз функціональних можливостей сучасних програмних продуктів показав, що Autodesk Revit MEP є ефективною базовою BIM-платформою для проєктування інформаційної моделі систем вентиляції і перевірки колізій, тоді як використання спеціалізованих програмних рішень, таких як MagiCAD, доцільно використовувати для підвищення точності інженерних розрахунків. Разом з тим AutoCAD MEP та ArchiCAD MEP Modeler доцільно використовувати для розроблення робочих креслень або проєктів невисокої складності. Отримані результати підтверджують доцільність комплексного BIM-підходу та можуть бути використані для обґрунтованого вибору програмних засобів для проєктування вентиляційних систем.

Література

1. Ailem R., Boton C. Automating clash relevance filtering in BIM-based multidisciplinary coordination using machine learning. *Automation in Construction*. 2026. Vol. 181. Art. 106644. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106644
2. Dai M., Li H., Wang S. Event-driven demand response control of air-conditioning to enable grid-responsive buildings. *Automation in Construction*. 2023. Vol. 150. Art. 104815. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104815
3. Noveiri P. B., Zaheeruddin M., Han S. A BIM-based approach for optimizing HVAC design and air distribution system layouts in panelized houses. Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020). International Association for Automation and Robotics in Construction, 2020 pp. 326-333 https://doi.org/10.22260/ISARC2020/0047
4. Waas L., Enjellina Review of BIM-Based Software in Architectural Design: Graphisoft ArchiCAD vs Autodesk Revit. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture (JARINA)*. 2022. Vol. 1, No. 2. pp. 14–22. https://doi.org/10.24002/jarina.v1i2.6016
5. Petersen A. J. A BIM-based framework for quantifying embodied emissions from MEP systems in building life cycle assessments. *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 562. Art. 02001. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2024/92/e3sconf_bsn2024_02001/e3sconf_bsn2024_02001.html
6. Mistry V. Building Information Modeling (BIM) integration with HVAC automation. *Journal of Civil Engineering Research & Technology*. 2020. Vol. 2, No. 2. P. 1–5. https://www.researchgate.net/publication/378406024_Building_Information_Modeling_BIM_Integration_with_HVAC_Automation
7. Фесенко О., Фільченкова Я., Прохорова В., Третяк А. Можливості ArchiCAD щодо виявлення колізій у роботі з BIM і MEP // *BMC-2024 – International Scientific-Practical Conference*. Київ, 2024. URL: https://repositary.knuba.edu.ua/handle/123456789/15509

References

1. Ailem, R., & Boton, C. (2026). Automating clash relevance filtering in BIM-based multidisciplinary coordination using machine learning. *Automation in Construction, 181*, 106644. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106644
2. Dai, M., Li, H., & Wang, S. (2023). Event-driven demand response control of air-conditioning to enable grid-responsive buildings. *Automation in Construction, 150*, Article 104815. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104815
3. Noveiri, P. B., Zaheeruddin, M., & Han, S. (2020). A BIM-based approach for optimizing HVAC design and air distribution system layouts in panelized houses. *Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020)*. International Association for Automation and Robotics in Construction. https://doi.org/10.22260/ISARC2020/0047
4. Waas, L., & Enjellina. (2022). Review of BIM-Based Software in Architectural Design: Graphisoft ArchiCAD vs Autodesk Revit. Journal of Artificial Intelligence in Architecture (JARINA), 1(2), 14–22. https://doi.org/10.24002/jarina.v1i2.6016
5. Petersen, A. J. (2024). A BIM-based framework for quantifying embodied emissions from MEP systems in building life cycle assessments. *E3S Web of Conferences, 92*, 02001. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2024/92/e3sconf_bsn2024_02001/e3sconf_bsn2024_02001.html
6. Mistry, V. (2020). Building Information Modeling (BIM) integration with HVAC automation. *Journal of Civil Engineering Research & Technology, 2*(2), 1–5. https://www.researchgate.net/publication/378406024_Building_Information_Modeling_BIM_Integration_with_HVAC_Automation
7. Fesenko, O., Filchenkova, Ya., Prokhorova, V., & Tretiak, A. (2024). Mozhlyvosti ArchiCAD shchodo vyiavlennia kolizii u roboti z BIM i MEP. BMC-2024 – International Scientific-Practical Conference. Kyiv, Ukraine. https://repositary.knuba.edu.ua/handle/123456789/15509 [in Ukrainian]

THE EFFECTIVENESS OF USING VIM TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF VENTILATION SYSTEMS

Abstract. *The article investigates the effectiveness of using BIM technologies when designing building ventilation systems, taking into account modern requirements for energy efficiency, quality of design documentation, and comprehensive coordination of project sections. The relevance of the study is due to the increasing complexity of engineering systems, increased requirements for the accuracy of engineering calculations, and the need to minimize the number of errors and changes at the final stages of design.The paper reviews current scientific papers on the use of BIM (Building Information Modeling) in the design of ventilation systems and MEP coordination (Mechanical, Electrical, Plumbing). It also outlines key problematic aspects related to the interoperability of software environments, the integration of engineering calculations into the BIM model, and the absence of unified approaches to assessing the effectiveness of the use of BIM technologies.The research methodology is based on the application of comparative and analytical approaches to the evaluation of software products for BIM design of ventilation systems, in particular Autodesk Revit MEP,*

AutoCAD MEP, MagiCAD, DDS-CAD HVAC and ArchiCAD MEP Modeler. The evaluation was carried out according to the indicators of the complexity of the design, the quality of coordination of engineering systems, the accuracy of the formation of specifications, the consistency of the BIM model with the results of engineering calculations and the number of changes at the later stages of the project. It was established that the use of the considered programs provides a significant improvement in the quality of design solutions, a decrease in the number of collisions and errors in the working documentation, as well as a reduction in the duration of design work compared to traditional CAD methods. The results obtained can be used to justify the choice of software and optimize design procedures in the field of development of ventilation systems.

Key words: BIM technologies, ventilation systems, building information modeling, collision checking, engineering calculations, design documentation.

O. P. Zakharchuk
Ph.D., Associate Professor at the Department Transport and Logistics,
West Ukrainian National University, Ternopil

M. Ya. Shpintal
Ph.D., Associate Professor at the Department of Computer Science,
West Ukrainian National University, Ternopil

M. V. Buriak
Ph.D., Associate Professor at the Department Transport and Logistics,
West Ukrainian National University, Ternopil

Дата першого надходження статті до видання: 11.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 72.01:69.059.25
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.5

Козак Н. Ф.
к.т.н., доцент кафедри архітектурних конструкцій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0000-0001-9387-4652

Кривенко О. В.
д.т.н., професор кафедри архітектурних конструкцій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0000-0002-8949-0944

ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ НАПРЯМ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ В ПОВОЄННІЙ УКРАЇНІ

Анотація. *В статті досліджується питання інноваційного підходу до відбудови та реконструкції в повоєнній Україні за принципами циркулярної економіки. Зростання кількості частково чи повністю зруйнованих будівель створює проблему аномального збільшення об'єму будівельних відходів. В той же час, потреба у відновленні і новому будівництві потребує значних будівельних ресурсів. Перехід від лінійної схеми споживання ресурсів до замкненого циклу життя будівель дає можливість частково вирішити ці два питання за рахунок один одного. Зміна погляду на будівлю, як на кінцевий продукт споживання, на парадигму: «будівля = матеріальний банк ресурсів = нова будівля», виводить процес проєктування, будівництва, експлуатації і демонтажу будівлі на новий рівень, що забезпечує сталий розвиток. В статті окреслено взаємозв'язок принципів циркулярної економіки при формуванні нової парадигми архітектурного проєктування в ході відновлення повоєнної України. Проаналізовано європейський досвід планування, організації будівництва та подальшої експлуатації за принципами циркулярної економіки при реконструкції житлових кварталів. Систематизовано різні підходи до повторного використання будівельних матеріалів. Виокремлено основні нормативні та технологічні виклики впровадження ресайклінгу при відбудові. Обґрунтовано доцільність інтеграції принципів циркулярної економіки в практику повоєнної реконструкції України. Проєктування будівель за принципами циркулярної моделі є перспективним напрямом розвитку архітектурної практики відновлення України. Такий підхід дозволить не лише вирішувати екологічні питання мінімізації будівельних відходів, але й створювати ресурсно-ефективне та архітектурно-виразне середовище, що має сталий розвиток.*

Ключові слова: реконструкція, відновлення, селективний демонтаж, ресайклінг, циркулярна економіка, сталий розвиток.

Постановка проблеми. Згідно відкритих джерел, внаслідок воєнних дій в Україні, станом на початок 2025 р. пошкоджено або зруйновано 200 млн. м^2 житлових та цивільних будівель. Це безпрецендентний об'єм накопиченого будівельного сміття. Будівельний сектор є одним із найбільших споживачів природних ресурсів та одним з головних джерел утворення відходів. За сучасними міжнародними дослідженнями, частка будівельної галузі у глобальному ресурсоспоживанні перевищує третину загального обсягу матеріалів. Споживання енергії в будівельному секторі сягає 45 % загального споживання енергії. В цьому контексті зміна підходу до проектування і будівництва з урахуванням принципів циркулярної економіки є надзвичайно актуальною. Повторне використання будівельних матеріалів стає стратегічним напрямом трансформації архітектурної практики. В ході повоєнної відбудови України перехід до концепту сталого дизайну є прогресивним напрямком розвитку в архітектурному проєктуванні.

Аналіз останніх досліджень. Теоретичні основи циркулярної економіки активно фор-

муються з 2000-х років, зокрема в працях М. Браунгарта і В. Макдоноу [1]. Витоки концепції циклової моделі економіки походять з екологічної і промислової екології. Термін «циркулярна економіка» набув поширення в 90-х роках XX ст. Дослідженням розвитку поняття циркулярної економіки та її теоретичних засад присвячено роботи д.е.н. Г. Черевко [2]. Питання повторного адаптивного використання матеріалів в будівництві розкриті у дослідженнях Дж. Дугласа, П. Буллена [3, 4], проблематика селективного демонтажу досліджують в своїх роботах Б. Аддіс і К. Кіберт [5, 6]. Ф. Помпоні, А. Монкастер пропонують розробляти проєкти за принципом *циркулярної моделі* [7]. *Циркулярна модель* передбачає замкнені матеріальні цикли та мінімізацію відходів, а також, за можливості, максимальне повторне використання матеріальних ресурсів з мінімальною переробкою. В архітектурному вимірі це означає переосмислення будівлі як матеріального банку ресурсів [8, 9]. Принцип *Adaptive reuse* («повторне використання») декларує інтеграцію історичних матеріалів і конструкцій в нові архітектурні ансамблі. Згідно принципів сталого будівництва реконструкція і модернізація є більш рентабельними методами ніж зведення нових «зелених» будівель на місці демонтованих.

Аналітичні публікації про відбудову України підкреслюють, що конструктивні елементи і матеріали зі зруйнованих будівель (цегла, бетон, деревина, метал, скло, пластик, тощо) мають потенціал для повторного використання в новому будівництві або реконструкції, за умови застосування селективного демонтажу та їх сортування і переробки безпосередньо на місці [10-13].

Метою роботи є обгрунтування базового в циркулярній економіці принципу *Cradle-to-cradle* («від колиски до колиски») повторного використання будівельних матеріалів, що забезпечує перехід від лінійної схеми споживання ресурсів до замкненого циклу життя будівель [14]. Окремим завданням дослідження є адаптація світового досвіду застосування принципів циркулярної економіки в повоєнному відновлення України. Одним з інструментів якого є трансформа-

Таблиця 1. Порівняння витрат на захоронення будівельних матеріалів та рециклінгу із селективним демонтажем [11]

Показник	Захоронення будівельних відходів	Рециклінг + селективний демонтаж
Загальний обсяг відходів	300 000 т	300 000 т
Частка селективного демонтажу	0 %	~100 %
Прямі витрати на утилізацію і демонтаж	600 000 €+3 900 000 €	3 900 000 €
Додаткові витрати на селективний демонтаж і сортування	0 €	480 000 €
Прямі витрати на утилізацію матеріалів, що не підлягають рециклінгу (10 %)	0 €	60 000 €
Загальні операційні витрати	4 500 000 €	4 400 000 €
Обсяг вилученого металобрухту (~5 %)	0 т	15 000 т
Отримані вторинні мінеральні матеріали	0 т	120 000т
Вартість вторинної продукції	0	960 000 €
Вартість первинної продукції	0	1 800 000 €
Економія на подальших закупівлях первинних матеріалів	0	840 000 €
Сукупний фінансовий ефект (дохід + економія)	0 €	3 090 000 €
Чисті витрати з урахуванням усіх вигод	4 500 000 €	1 350 000 €
Викиди CO_2 (умовно)	високі	на 30–60 % нижчі
Довгострокові економічні ризики	високі	суттєво нижчі

ція будівельних відходів у цінністний ресурс для створення якісного архітектурного середовища.

Результати досліджень. *Принципи циркулярної економіки в будівництві.* *Принцип Design for Disassembly* («дизайн для демонтажу»), проектування з урахуванням майбутнього демонтажу конструкцій, змінює логіку формування архітектурних систем. Будівля розглядається як тимчасова конфігурація матеріалів, фактично «склад будівельних матеріалів», який може трансформуватися певну кількість циклів [15]. Селективний процес демонтажу будівель з метою збереження конструктивних елементів і матеріалів для повторного використання дає можливість максимально зберігати ресурси, отримувати економію на транспортій логістиці, і створювати додану вартість на вторинному використанні матеріалів. Рециклінг будівельних матеріалів, дає можливість скоротити бюджет відбудови на 20–25 % (табл. 1).

Світовим лідером зі застосування *принципу Design for Disassembly* циркулярної економіки є на сьогодні Нідерланди. В Роттердамі активно впроваджується система Madaster, за якою кожна будівля, отримує цифровий паспорт матеріалів. В разі демонтажу чи реконструкції об'єкту, власник одразу має точну інформацію про кількість будівельних матеріалів, що можно реалізувати на ринку вторинної сировини.

Принцип Build Back Better («відбудувати краще ніж було») є основою сталого відновлення і реконструкції. Проектування із застосуванням цього принципу сталої економіки дає можливість створення архітектурного середовища, яке буде екологічно безпечним, енергоефективним та доступним, відповідатиме принципам інклюзії та універсального дизайну. Для досягнення більш ефективного результату доцільно розробляти проекти комплексної реконструкції не лише окремих будівель, а й цілісних архітектурних комплексів.

Ресайклінг у будівництві передбачає переробку та повторне використання матеріалів після завершення первинного життєвого циклу споруди. У межах реконструкції розрізняють такі підходи:

• Повторне використання (*reuse*) – застосування елементів конструкцій без значної переробки (металеві балки, цегла, дерев'яні перекриття).

• Ресайклінг матеріалів (*recycling*) – механічна або хімічна переробка відходів (бетонний щебінь, вторинний метал).

• Апсайклінг (*upcycling*) – трансформація відпрацьованих матеріалів у продукти з вищою функціональною або естетичною цінністю.

• Адаптивне повторне використання (*adaptive reuse*) – зміна функціонального призначення будівлі з мінімальним втручанням у її конструктивну структуру.

Екологічні та економічні аспекти. Повторне використання матеріалів і конструкцій дозволяє суттєво знизити вуглецевий слід будівництва, скоротити витрати на транспортування та виробництво нових матеріалів, а також активізувати локальні ринки вторинних ресурсів.

Оцінка впливу продукції на довкілля протягом життєвого циклу базується на міжнародних стандартах ISO 14040 / 14044, ISO 14025. Для будівельної продукції додатково застосовують стандарти EN 15804 і ISO 21930. В Україні з 1 січня 2026 вступив в дію оновлений ДСТУ 9171:2025 [16], який врегульовує використання природних ресурсів при проєктуванні і сертифікацію будівельної продукції. ДСТУ 9171:2025 не відміняє діючі закони і розпорядження з цього питання [17, 18]. Екологічний сертифікат на будівельну продукцію надає гарантії безпечності прйнятих проєктних рішень. Згідно міжнародних стандартів звіти про екологічність продукції надаються в спеціальних деклараціях Environment Product Declaration («екологічна декларація продукту», EPD). Для будівельної продукції враховуються додаткові критерії: енергоефективність, показник вмісту відновленого матеріалу чи відходу, показник вмісту небезпечних хімічних речовин, показник радіоактивного забруднення. Для отримання екологічного сертифікату на будівельну продукцію, потрібно дотримання показників, унормованих міжнародними стандартами, та загальнообов'язкових вимог: показник енергоефективності процесу виробництва, дотримання заходів зменшення впливу на довкілля, зменшення відходів виробництва та споживання. Оновлений ДСТУ 9171:2025 посилається на європейські EN, ISO.

Smart Waste Management (SWM) – ефективне управління відходами на основі цифрових технологій. SWM передбачає створення цифрової екосистеми, що охоплює весь жит-

тєвий цикл будівельних матеріалів, від виготовлення до переробки чи повторного використання [19].

Цікавим, є реалізований в 2018–2020 рр., досвід застосування принципів циркулярної економіки в експериментальному проєкті Super Circular Estate (Нідерланди) [20]. За задумом авторів для реконструкції кварталу з морально застарілим соціальним житлом в м. Кєркраде було застосовано інноваційні підходи циркулярної економіки, що передбачали 100 % використання демонтованих конструкцій і матеріалів в новому будівництві. Для цього було проведено: експертну оцінку стану зношеності конструкцій 9-ти поверхових панельних житлових будинків; виконано в кілька етапів їх селективний демонтаж; сортування будівельних матеріалів і конструкцій; одразу після демонтажну верхніх поверхів виконано поетапне будівництво кількох нових будівель різного типу циркулярності (рис. 1, 2). Це дозволило не складувати весь об'єм демонтованих матеріалів на ділянці проєктування і не витрачати кошти на вивезення та утилізацію будівельних відходів. Також в новозбудованому житлі запроєктовано систему замкненого водного циклу. Змінено традиційну систему прийняття рішень по управлінню житловим комплексом на партисипативну. Ідея проєкту була в тому, щоб зберегти також і соціальні зв'язки, для цього всім мешканцям старих будівель було запропоновано повернутись до оновленого мікрорайону. Передбачається їхнє активне залучення до обговорення, спільного проєктування, моніторингу за прийнятими рішеннями і наданням побутових послуг. В цьому комплексному соціальному проєкті застосовані інноваційні принципи циркулярної економіки, що дозволило революційно змінити підходи до планування і управління міським середовищем. В результаті реалізації цього проєкту було досягнуто:

• *екологічного ефекту*, а саме: зниження енергоспоживання на 34 % порівняно з традиційним будівництвом; значне зменшення викидів CO_2 (за оцінками експертів – до 250 000 € екологічної вигоди). Збережено первинні ресурси, зменшено навантаження на полігони збереження відходів;

• *економічного ефекту*: вартість матеріалів знизилася завдяки локальній переробці відходів («local urban mining»); створено бізнес-кейс для масштабування концепту циркулярного будівництва («circular business case»);

• *соціального ефекту*: збережено соціальні структури (мешканці залишилися в районі); залучено колишніх мешканців до процесу; створено додаткові робочі місця в демонтажі та переробці;

• *інноваційного ефекту*: розроблено прототипи нових продуктів (перероблений бетон, цегла з відходів); створено цифровий «паспорт будівельних матеріалів»; протестовано моделі для 16 будинків у майбутньому.

Проєкт Super Circular Estate (рис. 2) отримав нагороду «Innovation in Politics Award – 2020» і став еталонним кейсом для Horizon

а) б)

Рис. 1. Використання демонтованих конструкцій для будівництва нових будинків в ході реконструкції соціального житла. Проєкт Super Circular Estate (Нідерланди). а) демонтаж конструкції, б) будівля із застосуванням демонтованої конструкції *https://www.housingevolutions.eu/files/2019/09/DSC_9436-xx-666x1024.jpg*

Рис. 2. Проєкт Super Circular Estate. Реконструкція житлового мікрорайону,
(м. Кєркраде, Нідерланди), 2017–2020 рр.
https://www.housingevolutions.eu/project/the-super-circular-estate-project/#images-5

а) б)

Рис. 3. Реконструкція житлового будинку в Stoke Newington, Лондон, архітектурне бюро VATRAA;
а) прибудова у внутрішньому дворику, фото: Джим Стівенсон (Jim Stephenson), б) план будинку до реконструкції і план реконструкції
https://www.dezeen.com/2024/10/10/vatraa-reclaimed-bricks-london-extension/

Europe та EU Green Deal. Він ілюструє, як циркулярна економіка може вирішувати одночасно екологічні, соціальні та демографічні проблеми, слугуючи моделлю для повоєнної реконструкції в Україні (наприклад, у поєднанні з мобільними переробними комплексами).

Архітектурно-естетичний вимір. Матеріали зі слідами часу формують нову просторову мову. Поєднання історичних текстур із сучасними конструктивними рішеннями створює неординарну архітектурну ідентичність. Використання будівельних матеріалів і конструкцій в оновлених будівлях, крім економічного ефекту, має ще й *культурно-естетичний аспект*. Вдалим є приклад застосування старовинної цегли в реконструкції будинку в районі Сток-Ньюінгтон, Лондон, архітектурним бюро VATRAA, архітектори Анамарія Пірку і Богдан Русу. В 2024 р. цей проєкт потрапив до списку премії Dezeen Awards, в категорії «реконструкція».

Нормативні та технологічні виклики. Попри очевидні переваги, впровадження ресайклінгу в реконструкцію супроводжується низкою проблем:

• відсутність чітких стандартів сертифікації вторинних матеріалів;

• обмеження нормативної бази щодо повторного використання конструктивних елементів;

• складність технічної експертизи стану демонтованих матеріалів;

• недостатній рівень розвитку інфраструктури сортування та переробки.

Подолання цих бар'єрів потребує оновлення будівельних норм, стимулювання інновацій та міждисциплінарної співпраці архітекторів, інженерів і екологів.

Перспективи впровадження в Україні. Циркулярна економіка пропонує заміну лінійної моделі «виробництво – використання – відходи» на замкнутий цикл, де відходи стають ресурсами. В архітектурі це відкриває нові можливості для естетичних, конструктивних та екологічних рішень, зменшуючи викиди CO_2 на 20–50 % за рахунок вторинних матеріалів. В контексті післявоєнної відбудови України повторне використання матеріалів має всі шанси стати економічно доцільним та культурно значущим інструментом. Актуальним розвитком цього напрямку є вдосконалення нормативної бази з питання повторного використання будівельних ресурсів та запровадження матеріальних паспортів будівель, що фіксуватимуть, застосовані в будівлях, будівельні матеріали і конструкції, їх кількість, стан і перспективи повторного використання (після переробки чи без неї).

Висновки. Проєктування будівель за принципами створення циркулярної моделі на сьогодні перспективний напрям в повоєнному відновленні України, який варто впроваджувати в архітектурно-будівельну практику. Повторне використання будівельних матеріалів є ефективною архітектурною стратегією сталого розвитку, яка поєднує в тобі екологічні, економічні, соціальні та культурні аспекти реконструкції архітектурних об'єктів і комплексів.

Література

1. Papanek V. J. Design for the Real World: Human Ecology and Social Change. Thames & Hudson, 2019. 416 p.
2. H. Cherevko. Circular economy: evolution of the concept. *Agrarian Economy*. 2022. T. 15 Vol. 3-4: P. 51-58. https://doi.org/10.31734/agrarecon2022.03-04.051
3. Douglas J. Building Adaptation. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. 651 p.
4. Bullen P., Love P. Adaptive reuse of heritage buildings. *Structural Survey*. 2011. Vol. 29, no. 5. P. 411–421. DOI :10.1108/02630801111182439
5. Addis B. Building with Reclaimed Components and Materials. London : Earthscan, 2006. 224 p.
6. Kibert C. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2016. 608 p.
7. Pomponi F., Moncaster A. Circular economy for the built environment. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 143. P. 710–718. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.12.055
8. Esther H. K. Yung, Edwin H. W. Chan. Implementation challenges to the adaptive reuse of heritage buildings: Towards the goals of sustainable, low carbon cities. *Habitat International*. 2012. Vol. 36, no. 3. P. 352–361. DOI:10.1016/j.habitatint.2011.11.001
9. Hebel D., Wisniewska M. H., Heisel F. Building from Waste: Recovered Materials in Architecture and Construction. 2014. DOI: 10.1515/9783038213758
10. Шишкін Е., Гайко Ю., Черноносова Т. Шляхи рециклінгу будівельного сміття під час післявоєнної відбудови зруйнованих міст. *Містобудування та територіальне планування*. 2024. № 85. С. 679–697. DOI: 10.32347/2076-815x.2024.85.679-697
11. Рециклінг будівельних матеріалів. *Капітальне будівництво*. 2026. № 1(206). С. 52-58. URL : https://kapstroy.kiev.ua/wp-content/uploads/2026/03/KS-1-2026 (Дата звернення: 15.02.2026).

12. Перетворення будівельних відходів та зруйнованих матеріалів на ресурс [Електронний ресурс] // Novatorstroy : [сайт]. – 2024. – URL : https://novatorstroy.com/ua/pres-relizi/peretvorennya-budivelnikh-vidkhodiv-ta-zrujnovanikh-materialiv-na-resurs/ (Дата звернення: 15.02.2026).
13. Смагіна А. Час відбудовуватися: п'ять тенденцій відновлення України під час війни. *Рубрика*. 2024. 22 лютого. URL : https://rubryka.com/article/vidbudova-ukrayiny-pid-chas-vijny/ (дата звернення: 15.02.2026).
14. McDonough W., Braungart M. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. New York : North Point Press, 2002. 208 p.
15. Ellen MacArthur Foundation. Towards the Circular Economy Vol. 1: An economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes : Ellen MacArthur Foundation, 2013. 98 p.
16. ДСТУ 9171:2025. Настанова щодо забезпечення сталого використання природних ресурсів під час проєктування споруд. [Чинний від 2026-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2025. 48 с. (Національний стандарт України).
17. Про управління відходами : Закон України від 20 черв. 2022 р. № 2320-IX [Електронний ресурс]. – Режим доступу: zakon.rada.gov.ua.
18. Постанова Кабінету Міністрів України від 10 груд. 2025 р. № 1622 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.kmu.gov.ua.
19. Woolley T. [et al.]. Green building handbook: Volume 1: A guide to building products and their impact on the environment. London : Spon Press, 2002. 216 p. DOI: 10.4324/9780203477403
20. https://www.housingevolutions.eu/project/the-super-circular-estate-project/ (дата звернення: 15.02.2026).

References

1. Papanek, V. J. (2019). *Design for the real world: human ecology and social change*. Thames & Hudson.
2. H. Cherevko. (2022) Circular economy: evolution of the concept. *Agrarian Economy*. T. 15 Vol. 3–4: P. 51–58.
2. Douglas, J. (2006). *Building adaptation*. Butterworth-Heinemann.
3. Bullen, P. A., & Love, P. (2011). *Adaptive reuse of heritage buildings*, 29(5), 411–421.
4. Addis, B. (2006). *Building with reclaimed components and materials*. Earthscan.
5. Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: Green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
6. Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710–718.
7. Yung, E. H. K., & Chan, E. H. W. (2012). Implementation challenges to the adaptive reuse of heritage buildings: Towards the goals of sustainable, low carbon cities. *Habitat International*, 36 (3), 352–361.
8. Hebel, D., Wisniewska, M. H., & Heisel, F. (2014). *Building from waste: Recovered materials in architecture and construction*. Birkhäuser. https://doi.org/10.1515/9783038213758
9. Shyshkin, E., Haiko, Y., & Chernonosova, T. (2024). Shliakhy retsyklinhu budivelnoho smittia pid chas pisliavoiennoi vidbudovy zruinovanykh mist. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia* [Urban development and territorial planning], (85), 679–697. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.679-697
10. Recycling of building materials. (2026). *Kapitalne budivnytstvo*. 1(206), 52-58. https://kapstroy.kiev.ua/wp-content/uploads/2026/03/KS-1-2026 [in Ukrainian].
11. Peretvorennia budivelnykh vidkhodiv ta zruinovanykh materialiv na resurs. (2024). *Novatorstroy*. https://novatorstroy.com/ua/pres-relizi/peretvorennya-budivelnikh-vidkhodiv-ta-zrujnovanikh-materialiv-na-resurs/
12. Smagina, A. (2024, February 22). Chas vidbudovuvatysia: piat tendentsii vidnovlennia Ukrainy pid chas viiny. [Time to rebuild: five trends of Ukraine's recovery during the war]. *Rubryka*. https://rubryka.com/article/vidbudova-ukrayiny-pid-chas-vijny
13. McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.
14. Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy Vol. 1: An economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation.
15. DSTU 9171:2025 *Nastanova shchodo zabezpechennia staloho vykorystannia pryrodnykh resursiv pid chas proiektuvannia sporud* [Guideline on ensuring the sustainable use of natural resources during the design of structures]. [in Ukrainian].
16. Law of Ukraine No. 2320-IX. (2022, June 20). *Pro upravlinnia vidkhodamy* [On waste management]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20.
17. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025, December 10). *Postanova vid 10 hrudnia 2025 r. № 1622* [Resolution of December 10, 2025, No. 1622]. https://www.kmu.gov.ua/npas/1622
18. Woolley, T., Kimmins, S., Harrison, P., & Harrison, R. (2002). *Green building handbook: Volume 1: A guide to building products and their impact on the environment*. Spon Press. https://doi.org/10.4324/9780203477403
19. https://www.housingevolutions.eu/project/the-super-circular-estate-project/

THE CIRCULAR ECONOMY AS A STRATEGIC APPROACH TO RECONSTRUCTION AND RECOVERY IN POST-WAR UKRAINE

Abstract. *This article examines an innovative approach to reconstruction and renovation in post-war Ukraine based on the principles of the circular economy. The growing number of partially or completely destroyed buildings is creating a problem of an abnormal increase in the volume of construction waste. At the same time, the need for restoration and new construction requires significant construction resources. The transition from a linear model of resource consumption to a closed-loop building life*

cycle offers the opportunity to partially resolve these two issues by leveraging one against the other. Shifting the perspective on a building from viewing it as a "final consumer product" to the paradigm of "building = a tangible bank of resources = a new building" takes the process of design, construction, operation and demolition of a building to a new level, thereby ensuring sustainable development. This article outlines the interconnection between the principles of the circular economy and the formation of a new paradigm for architectural design during the reconstruction of post-war Ukraine. It analyses European experience in planning, organising construction and subsequent operation in accordance with the principles of the circular economy during the reconstruction of residential neighbourhoods. Various approaches to the reuse of building materials are systematised. The main regulatory and technological challenges of implementing recycling during reconstruction are highlighted. The feasibility of integrating the principles of the circular economy into the practice of post-war reconstruction in Ukraine is substantiated. The design of buildings based on the principles of the circular economy represents a promising direction for the development of architectural practice in Ukraine's reconstruction. This approach will not only address environmental issues such as the minimisation of construction waste, but also create a resource-efficient and architecturally distinctive environment that is sustainable.

Key words: renovation, restoration, selective dismantling, recycling, circular economy, sustainable development.

N. F. Kozak
PhD, Associate Professor at the Department of Architectural Construction,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

O. V. Krivenko
Doctor of Engineering Sciences,
Professor of Department of Architectural Construction,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Дата першого надходження статті до видання: 25.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 69.003:658.78
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.6

Несевря П. І.
к.т.н., доцент кафедри технології будівельного виробництва,
Український державний університет науки і технологій,
Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», м. Дніпро
ORCID: 0000-0003-2371-7381

Лагутчев Д. М.
аспірант кафедри технології будівельного виробництва,
Український державний університет науки і технологій,
Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», м. Дніпро
ORCID: 0009-0003-6028-3911

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ У БУДІВНИЦТВІ ЛОГІСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Анотація. *Будівництво логістичних комплексів характеризується зростанням просторових масштабів, технологічної насиченості та організаційної складності, що ускладнює об'єктивне порівняння альтернативних проєктних рішень. Наявні дослідження переважно зосереджені на економічних показниках або ефективності логістичних процесів експлуатації, тоді як інтегрованій оцінці організаційно-технологічних рішень на етапі будівництва приділяється обмежена увага.*

У роботі виконано порівняльну оцінку шести логістичних комплексів із застосуванням інтегрального багатокритеріального підходу, сформованого на основі методу аналізу ієрархій (AHP). Запропонована модель дозволяє агрегувати різнорідні характеристики реальних об'єктів у нормалізовані показники та виконувати їх відносне ранжування без прив'язки до абсолютних параметрів площі або вартості.

Результати показали, що інтегральна оцінка дозволяє виявити різну збалансованість організаційно-технологічних рішень навіть за подібних конструктивних параметрів.

Запропонований підхід розширює інструментарій управління будівельними проєктами логістичної інфраструктури, забезпечуючи структуровану основу для порівняльної оцінки альтернативних рішень на ранніх етапах планування. Обмеження дослідження пов'язані з експертним характером оцінювання та обсягом вибірки; подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення емпіричної бази та інтеграцію цифрових середовищ управління проєктами [1–3].

Ключові слова: логістичні комплекси, організаційно-технологічні рішення, багатокритеріальний аналіз, метод аналізу ієрархій, монтажно-демонтажні роботи, ефективність будівництва, управління будівництвом, багатокритеріальна оцінка, інтегральна ефективність.

Постановка проблеми. Сучасні логістичні комплекси характеризуються високою організаційною та технологічною складністю, що ускладнює об'єктивне порівняння альтернативних будівельних рішень. У практиці управління проєктами оцінювання часто базується на окремих показниках, що не відображає системної взаємодії конструктивних, організаційних і технологічних факторів та підвищує рівень невизначеності на ранніх стадіях планування. [15, 16].

Дослідження полягає у формуванні інтегральної моделі порівняльної оцінки організаційно-технологічних рішень логістичних комплексів із використанням методу аналізу ієрархій, адаптованої до етапу будівництва.

Аналіз останніх досліджень. У сучасних дослідженнях у сфері логістичної інфраструктури значна увага приділяється оптимізації складських процесів, вибору просторових рішень та підвищенню ефективності функціонування об'єктів. При цьому питання інтегрованої оцінки організаційно-технологічних рішень на етапі будівництва логістичних комплексів залишаються недостатньо вивченими.

Метод аналізу ієрархій широко використовується для прийняття будівельних рішень у складних інженерних системах, оскільки дозволяє поєднувати кількісні та якісні критерії оцінювання [1–3]. У низці робіт розглянуто застосування багатокритеріальних підходів для вибору місця розташування логістичних центрів, оцінювання ризиків та оптимізації конфігурації інфраструктури [5, 6]. Система критеріїв, використана в дослідженні, частково базується на матеріалах дисертаційної роботи автора [18], однак у цій статті розширена шляхом прикладної інтегральної оцінки реальних логістичних комплексів.

Водночас більшість досліджень орієнтована на експлуатаційні аспекти логістики, що обмежує застосування багатокритеріальних підходів на етапі будівництва об'єктів.

У міжнародних публікаціях останніх років увага приділяється взаємозв'язку рівня автоматизації складських систем, цифровізації процесів та стійкості логістичних ланцюгів [7–9]. Застосування концепцій Industry 5.0 та цифрових платформ управління даними сприяє переходу від локальної оптимізації окремих параметрів до комплексної оцінки інфраструктурних рішень.

У національних дослідженнях увага зосереджена переважно на технологічних рішеннях окремих об'єктів, українські дослідники також приділяють увагу багатокритеріальним методам оцінювання організаційно-технологічних параметрів будівництва, зокрема при виборі технологічних схем та формуванні проєктних рішень [10, 11, 15]. Окремі роботи присвячені аналізу ефективності логістичних комплексів та управлінню будівельними проєктами, що створює методичне підґрунтя для подальших прикладних досліджень у цій сфері [16, 17].

Незважаючи на наявність значної кількості публікацій, питання інтегрованого порівняльного аналізу організаційно-технологічних характеристик логістичних комплексів із використанням узагальнених інтегральних показників потребує подальшого розвитку, що й обумовлює актуальність даного дослідження.

Метою роботи є виконання порівняльної багатокритеріальної оцінки організаційно-технологічних рішень логістичних комплексів на основі інтегральних показників ефективності.

Методичні засади порівняльної оцінки логістичних комплексів. Прикладна логіка багатокритеріального порівняння об'єктів

Порівняльна оцінка базується на інтеграції організаційно-технологічних характеристик у систему нормалізованих показників з використанням методу AHP [2, 7].

Методика порівняльної оцінки базується на інтеграції організаційно-технологічних характеристик логістичних комплексів у систему нормалізованих показників із використанням методу аналізу ієрархій (AHP). Базові

Таблиця 1. Групи критеріїв порівняльної оцінки

Група	Зміст практичної оцінки
Об'ємно-планувальні	Масштаб, конфігурація, функціональна структура
Конструктивні	Тип каркаса, крок колон, технологічність монтажу
Організаційно-технологічні	Автоматизація, складність МДР, управління процесами

Таблиця 2. Вагові коефіцієнти груп критеріїв

Група критеріїв	Ваговий коефіцієнт
Об'ємно-планувальні	0,32
Конструктивні	0,28
Організаційно-технологічні	0,40

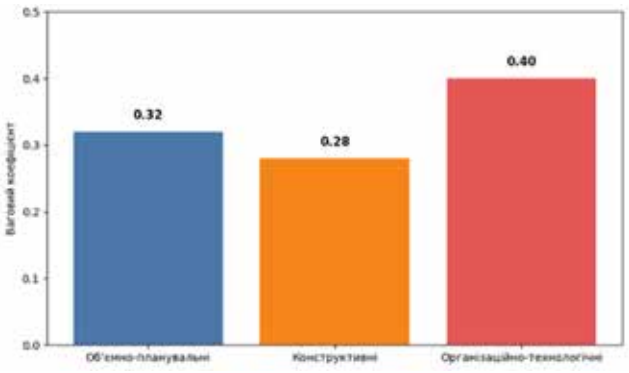


Рис. 1. Розподіл вагових груп критеріїв
Прикладна схема розрахунку інтегрального показника

Рис. 2. Блок-схема аналітичної схеми

методичні положення підходу сформовано в межах дисертаційного дослідження автора [18], тоді як у цій роботі акцент зроблено на прикладному порівняльному аналізі логістичних комплексів.

Методичні положення частково базуються на результатах попереднього дослідження авторів, однак у цій роботі розширені шляхом прикладної інтегральної оцінки реальних логістичних комплексів.

Система критеріїв прикладного аналізу. Для прикладної оцінки використано систему критеріїв, сформовану та обґрунтовану в попередньому дослідженні, але адаптовану до аналітичних потреб цієї статті. Критерії згруповано у три укрупнені блоки, які безпосередньо відображають практику будівництва логістичних комплексів.

Об'єднання критеріїв у три блоки дозволило збалансувати конструктивні та організаційні аспекти оцінювання.

Аналітична інтерпретація вагових коефіцієнтів. Оцінювання вагових коефіцієнтів критеріїв виконано на основі експертних суджень 19 респондентів. Для визначення ваг застосовано процедуру парних порівнянь, а узгодженість експертних суджень перевірено за показником узгодженості (CR), який перебував у межах допустимого значення, що підтверджує надійність отриманих результатів. Нормалізацію оцінок альтернатив виконано шляхом лінійного приведення показників до інтервалу [0; 1], що забезпечило коректність їх подальшого агрегування в інтегральний показник ефективності [1, 3].

Вагові коефіцієнти груп критеріїв, отримані у першій статті, у межах даної роботи використовуються як фіксовані параметри, що забезпечує методичну спадкоємність і запобігає дублюванню результатів.

Інтегральний показник ефективності досліджуваного об'єкту формується як зважена сума оцінок об'єкта за кожною групою критеріїв. При цьому числові значення відображають відносну, а не абсолютну ефективність, що є принципово важливим для порівняльного аналізу.

1. Збір характеристик об'єкта (площа, тип каркаса, автоматизація).
2. Нормалізація показників.
3. Застосування вагових коефіцієнтів.
4. Отримання інтегральної оцінки.
5. Ранжування об'єктів.

Запропонована аналітична схема забезпечує послідовний перехід від вихідних характеристик об'єктів до інтегральної оцінки їх ефективності.

Для ілюстрації прикладної реалізації запропонованої методики наведено узагальнений приклад впливу організаційно-технологічних факторів на інтегральну оцінку (рис. 3). Надалі результати аналізу представлено на основі фактичних характеристик досліджуваної вибірки логістичних комплексів.

Представлені порівняння демонструють варіативність інтегральних значень за умов різної організаційно-технологічної конфігурації об'єктів. Спостерігається, що зміна рівня автоматизації та індустріалізації будівництва

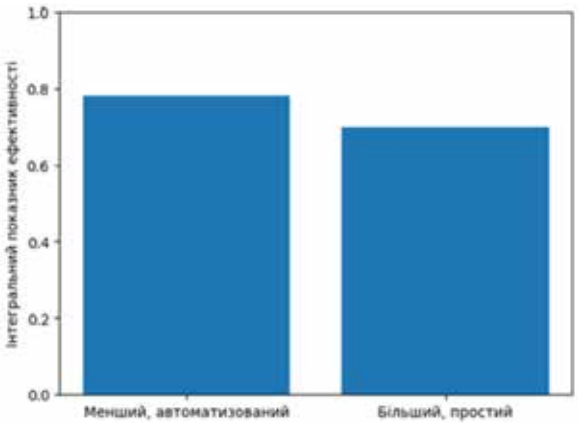


Рис. 3. Вплив автоматизацій та організації на ефективність

Таблиця 3. Загальні та конструктивні характеристики логістичних комплексів

№	Назва об’єкта	Розташування	Орієнтовна площа, тис. м²	Функціональний тип	Тип каркаса	Крок колон, м	Наявність мезонінів	Кількість доків*
1	ЛК «Щасливе»	Київська обл.	~25	Універсальний з мезонінами	Сталевий	12 × 24	Так	Висока
2	ЛК «Макарівський»	Київська обл.	~40	Регіональний логістичний центр	Сталевий	12 × 24	Ні	Дуже висока
3	ЛК «Березинський»	м. Дніпро	~30	Універсальний склад	ЗБ каркас	9 × 18	Ні	Середня
4	РЛЦ «Квітневе»	Київська обл.	~35	Мультитемпературний центр	Сталевий	12 × 24	Частково	Висока
5	ЛЦ PORT	Львівська обл.	~20	Крос-докінговий	Сталевий	12 × 18	Ні	Двосторонні
6	ЛЦ «Епіцентр Калинівка»	Київська обл.	>50	Дистрибуційний центр	Сталевий	12 × 24	Ні	Дуже висока

відображається у зміні відносних показників ефективності, що підкреслює комплексний характер взаємодії факторів у межах застосованої моделі оцінювання.

Результати досліджень. Для виконання порівняльної багатокритеріальної оцінки сформовано вибірку з шести логістичних комплексів, реалізованих на території України та відібраних з урахуванням різної функціональної структури, конструктивних схем і організаційно-технологічних параметрів будівництва. Об'єкти розглядаються як альтернативи в межах єдиної моделі оцінювання.

Загальна характеристика логістичних комплексів. Вибірка включає шість логістичних комплексів різного функціонального типу та масштабу, що дозволяє оцінити вплив конструктивних і організаційних рішень у межах єдиної моделі.

Наведені загальні характеристики формують вихідну основу для подальшого аналізу конструктивних та організаційно-технологічних параметрів, які безпосередньо впливають на інтегральну ефективність об'єктів.

Дані сформовані на основі відкритих характеристик та проєктної документації.

Порівняння площ демонструє значну варіативність масштабу об'єктів, що підтверджує необхідність використання нормалізованих показників у моделі оцінювання.

Конструктивні та об'ємно-планувальні особливості об'єктів. Таблиця 4 містить узагальнені конструктивні параметри досліджуваних об'єктів, включаючи тип каркаса, крок колон і наявність мезонінів. Більшість об'єктів виконані зі сталевим каркасом, тоді як один комплекс реалізовано із застосуванням залізобетонної конструктивної схеми.

Організаційно-технологічні характеристики логістичних комплексів. У таблиці 4 подано відносні оцінки організаційно-технологічних параметрів досліджуваних об'єктів,

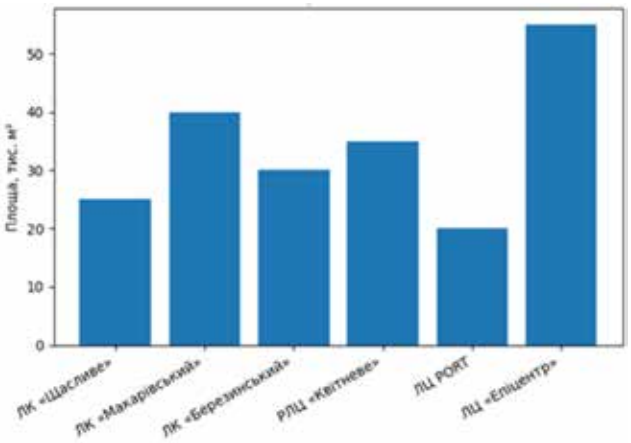


Рис. 4. Стовпчикова діаграма площ логістичних комплексів

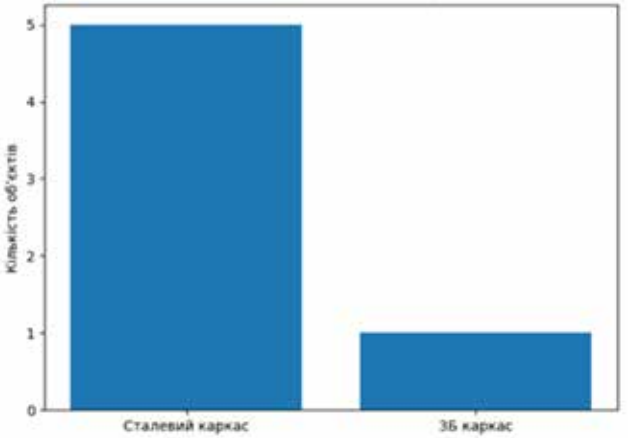


Рис. 5. Переважання типів конструктивних схем

зокрема рівень автоматизації, використання систем управління складом, енергоефективні рішення та складність монтажно-демонтажних робіт [7, 8, 9].

Профілі організаційно-технологічних факторів свідчать про різний рівень автоматизації та складності реалізації будівельних рішень між досліджуваними об'єктами.

Отримані результати також відображають вплив конструктивної технологічності карка-

Таблиця 4. Організаційно-технологічні параметри об'єктів

Об'єкт	Рівень автоматизації	WMS	Енергоефективні рішення	Складність МДР
ЛК «Щасливе»	Високий	Так	Середні	Висока
ЛК «Макарівський»	Середній	Частково	Середні	Середня
ЛК «Березинський»	Середній	Так	Високі	Середня
РЛЦ «Квітневе»	Високий	Так	Високі	Дуже висока
ЛЦ PORT	Середній	Так	Низькі	Середня
ЛЦ «Епіцентр»	Високий	Так	Середні	Висока

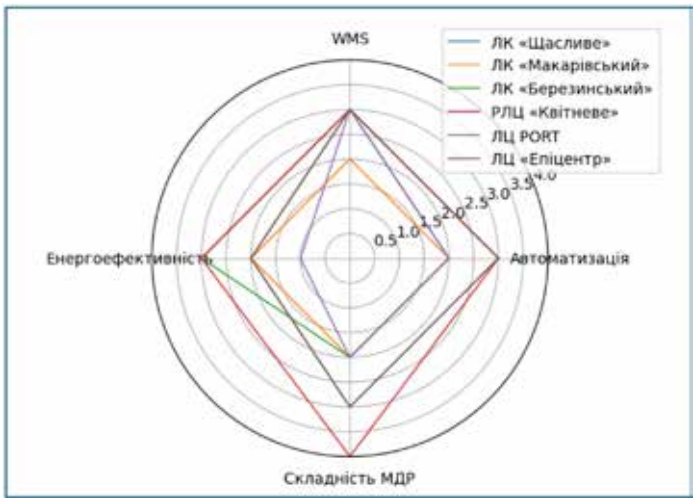


Рис. 6. Радарна діаграма організаційно-технологічних факторів

сів та рівня індустріалізації монтажних процесів на інтегральні показники ефективності.

Порівняльні профілі окремих об'єктів

Для детальнішої інтерпретації результатів виконано порівняння крайніх альтернатив. Порівняльні профілі окремих об'єктів узагальнено представлені на радарній діаграмі (рис. 7), що дозволяє уникнути дублювання графічних інтерпретацій.

Рис. 7. Порівняльна радарна діаграма РЛЦ «Квітневе» vs ЛЦ PORT

Порівняльна багатокритеріальна оцінка логістичних комплексів. Порівняльна оцінка виконана на основі узагальнених характеристик логістичних комплексів із застосуванням системи критеріїв, сформованої відповідно до прийнятої моделі багатокритеріального аналізу. У межах цієї роботи інтегральна оцінка використовується як інструмент відносного ранжування досліджуваних об'єктів.

Отримані узагальнені характеристики об'єктів стали підґрунтям для формування системи критеріїв, що використовується для подальшого багатокритеріального оцінювання.

Формування системи критеріїв оцінки. На основі аналізу характеристик досліджуваних об'єктів було сформовано узагальнену систему критеріїв, що відображає ключові аспекти організаційно-технологічних рішень.

Запропонована структура критеріїв розроблена на основі попередніх результатів дисертаційного дослідження [18] та адаптована до аналітичних потреб цієї статті.

Система критеріїв (K1–K6) охоплює конструктивні, організаційні та технологічні характеристики об'єктів [10,16].

Особливістю запропонованої системи є врахування складності монтажно-демонтажних робіт як окремого критерію, що рідко використовується у дослідженнях логістичної інфраструктури.

Визначення вагових коефіцієнтів критеріїв. Вагові коефіцієнти критеріїв визначені на основі експертних оцінок із застосуванням процедур парних порівнянь. Узгодженість суджень перебувала в допустимих межах. Розподіл вагових коефіцієнтів наведено в таблиці 6 та на діаграмі (рис. 8).

Оцінювання логістичних комплексів за критеріями. Таблиця 7 містить нормалізовані значення критеріїв для кожного досліджуваного об'єкту. Радарна діаграма (рис. 9) відображає профілі оцінювання об'єктів і дозволяє візуально зіставити розподіл значень критеріїв у межах вибірки.

Таблиця 5. Система критеріїв багатокритеріальної оцінки

Позначення	Критерій	Зміст критерію
К1	Конструктивна технологічність	Простота та швидкість монтажу каркаса
К2	Організація будівельного процесу	Логістика робіт, послідовність, керованість
К3	Рівень автоматизації	Впровадження автоматизованих систем
К4	Енергоефективність	Застосування сучасних енергоощадних рішень
К5	Гнучкість планувальних рішень	Можливість адаптації та трансформації
К6	Складність монтажно-демонтажних робіт	Технологічні та організаційні ризики

Таблиця 6. Вагові коефіцієнти критеріїв

Критерій	Ваговий коефіцієнт
К1 Конструктивна технологічність	0,21
К2 Організація будівельного процесу	0,19
К3 Рівень автоматизації	0,17
К4 Енергоефективність	0,15
К5 Гнучкість планувальних рішень	0,14
К6 Складність монтажно-демонтажних робіт	0,14
Σ	**1,00**

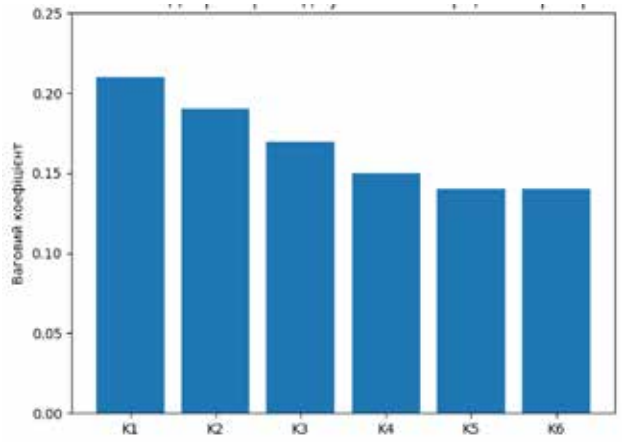


Рис. 8. Діаграма розподілу вагових коефіцієнтів

Рисунок відображає профілі логістичних комплексів за нормалізованими оцінками критеріїв *К*1–*К*6, що дозволяє візуально порівняти сильні та слабкі сторони кожного об'єкта.

Розрахунок інтегральних показників ефективності. Інтегральний показник ефективності визначено шляхом зваженого агрегування нормалізованих оцінок. Результати ранжування досліджуваних об'єктів наведено в таблиці 8, а їх графічне представлення подано на рис. 10.

Інтегральні значення ефективності визначено шляхом зваженого агрегування нормалізованих оцінок критеріїв.

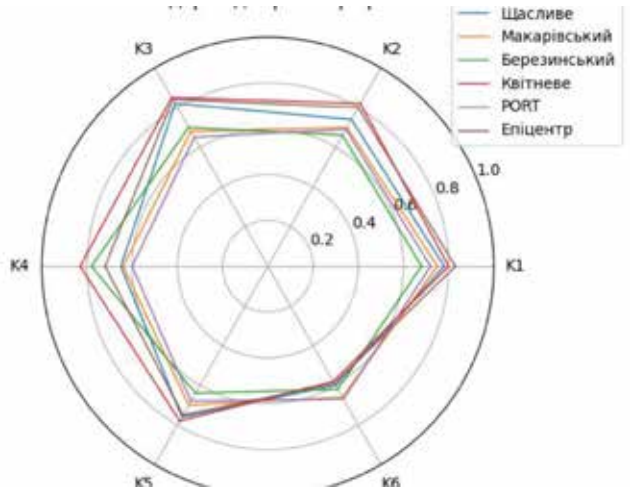


Рис. 9. Радарна діаграма профілів об'єктів

Таблиця 7. Нормалізовані оцінки об'єктів

Об'єкт	К1	К2	К3	К4	К5	К6
ЛК «Щасливе»	0,78	0,74	0,82	0,65	0,76	0,60
ЛК «Макарівський»	0,75	0,70	0,68	0,64	0,70	0,66
ЛК «Березинський»	0,68	0,66	0,70	0,78	0,64	0,62
РЛЦ «Квітневе»	0,80	0,82	0,85	0,83	0,78	0,58
ЛЦ PORT	0,72	0,69	0,65	0,60	0,68	0,67
ЛЦ «Епіцентр»	0,83	0,80	0,84	0,72	0,75	0,59

Таблиця 8 – Інтегральні показники та ранжування

Об'єкт	Інтегральний показник	Місце
РЛЦ «Квітневе»	0,79	1
ЛЦ «Епіцентр»	0,78	2
ЛК «Щасливе»	0,75	3
ЛК «Березинський»	0,70	4
ЛК «Макарівський»	0,69	5
ЛЦ PORT	0,67	6

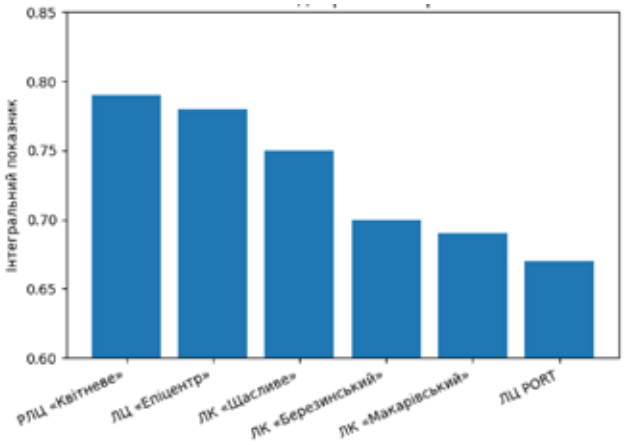


Рис. 10. Стовпчикова діаграма інтегральних показників

На рисунку представлено інтегральні показники ефективності досліджуваних об'єктів, визначені шляхом зваженого агрегування нормалізованих оцінок.

Практичні приклади інтерпретації результатів

Діаграми відображають різницю структури критеріїв і відповідні інтегральні значення у межах прийнятої моделі оцінювання.

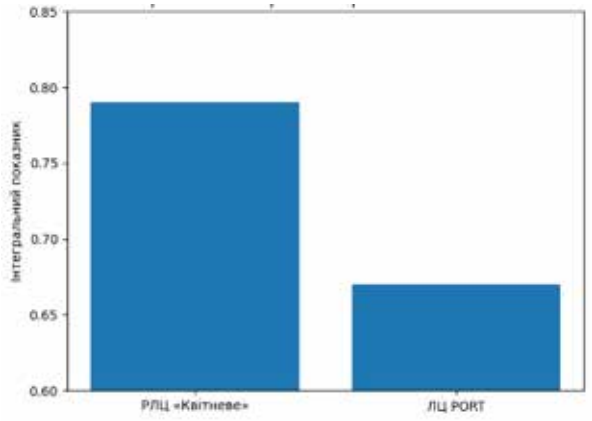


Рис. 11. Порівняння інтегральної ефективності: РЛЦ «Квітневе» vs ЛЦ PORT

Узагальнення результатів. Отримані значення інтегральних показників формують відносне ранжування логістичних комплексів у межах досліджуваної вибірки та створюють основу для подальшої інтерпретації результатів.

Отримані результати багатокритеріальної оцінки демонструють можливість інтегрованого аналізу організаційно-технологічних характеристик досліджуваних об'єктів у межах єдиної порівняльної моделі. Застосований підхід дозволив сформувати відносну ієрархію об'єктів без прямої прив'язки до їх масштабних показників, що відповідає сучасним тенденціям досліджень у сфері управління будівельними проєктами логістичної інфраструктури [7–9].

На відміну від досліджень [7–9], де основна увага приділяється експлуатаційній ефективності логістичних систем, запропонований підхід орієнтований на етап будівництва та формування організаційно-технологічних рішень.

Порівняльний аналіз інтегральних показників показав, що варіативність результатів пов'язана насамперед із конфігурацією організаційно-технологічних параметрів, тоді як окремі технічні характеристики мають більш локальний вплив у межах моделі. При цьому отримані профілі оцінювання демонструють різний рівень збалансованості факторів між об'єктами, що відображається у зміні їх позицій у рейтингу.

Практична інтерпретація отриманих результатів свідчить, що інтегральна оцінка може використовуватись як допоміжний інструмент підтримки управлінських рішень на ранніх стадіях проєктування [17]. Водночас результати слід розглядати в межах досліджуваної вибірки та прийнятої системи критеріїв, що обмежує можливість їх прямої екстраполяції на інші типи об'єктів без додаткової адаптації моделі.

Загалом проведений аналіз підтверджує доцільність застосування структурованих багатокритеріальних підходів для порівняння організаційно-технологічних рішень у будівництві логістичних комплексів, оскільки вони дозволяють поєднати різнорідні характеристики в узгодженій системі оцінювання.

Запропонований підхід може бути використаний при техніко-економічному обґрунтуванні варіантів будівництва логістичних об'єктів та формуванні організаційно-технологічних рішень на стадії передпроєктного аналізу.

Висновки. У статті виконано прикладну порівняльну оцінку організаційно-технологічних рішень логістичних комплексів із використанням інтегрального багатокритеріального підходу. Застосування узагальненої системи критеріїв та нормалізованих показників дозволило сформувати відносне ранжування об'єктів і продемонструвати можливість їх зіставлення в межах єдиної моделі оцінювання. [1, 2].

У роботі вперше запропоновано підхід до інтегрального ранжування логістичних комплексів за організаційно-технологічними параметрами будівництва із використанням нормалізованих критеріїв.

Результати дослідження показали, що інтегральні значення ефективності формуються під впливом комплексної взаємодії конструктивних, організаційних і технологічних характеристик. Отримані профілі оцінювання відображають різну конфігурацію факторів між досліджуваними об'єктами та демонструють можливість використання інтегральних показників для порівняльного аналізу без використання абсолютних техніко-економічних параметрів.

Запропонований підхід має прикладне значення для підтримки прийняття рішень у сфері девелопменту та управління будівельними проєктами, оскільки дозволяє структурувати різнорідні дані у форматі, придатному для раннього етапу оцінювання альтернативних сценаріїв реалізації логістичних об'єктів.

Подальший розвиток підходу пов'язаний із розширенням емпіричної бази дослідження, інтеграцією кількісних показників реалізації проєктів та використанням цифрових середовищ управління будівництвом.

Література

1. Saaty T. L. Decision making for leaders: The analytic hierarchy process for decisions in a complex world. Pittsburgh : RWS Publications, 1990. 200 p.
2. Vaidya O. S., Kumar S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*. 2006. Vol. 169, № 1. P. 1–29. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028
3. Ishizaka A., Labib A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*. 2011. Vol. 38, № 11. P. 14336–14345. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.143
4. Derhami S., Smith J. S., Gue K. R. A simulation-based optimization approach to design optimal layouts for block stacking warehouses. *International Journal of Production Economics*. 2020. Vol. 219. P. 1–12. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.012
5. Wang Y., Li X., Zhang Y. Site selection of cold chain logistics centers based on AHP. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1884. 012015. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/1884/1/012015
6. Zhao J. Research on location selection of cold chain logistics distribution center in Dongguan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 987. 012034. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/987/1/012034.
7. Supply Chain Resilience and Warehousing in Disruptive Environments / A. Mohammed et al. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, № 12. 9456. DOI: https://doi.org/10.3390/su15129456
8. Ivanov D. Industry 5.0: Circular Economy, Resilience and Human-Centricity in Logistics. *International Journal of Production Research*. 2023. Vol. 61, № 5. P. 1456–1472. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2156789
9. Industry 5.0 and Warehousing Performance Management: A Systems-Informed Exploration / M. Ghobakhloo et al. *International Journal of Logistics Research and Applications*. 2025. P. 1–25. DOI: https://doi.org/10.1080/13675567.2024.2301234
10. Козак Ю. Г., Петренко О. В. Застосування методу аналізу ієрархій у виборі технологій логістичного центру. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Будівництво та архітектура*. 2023. № 12 (45). С. 78–89.
11. Грицик В. В. Багатокритеріальна оцінка організаційно-технологічних рішень у будівництві складських комплексів. *Будівництво України*. 2024. № 3. С. 45–56.
12. Дрозд М. І. Інноваційні організаційно-технологічні рішення в монолітному будівництві. *Матеріали Всеукр. наук.-техн. конф.* Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. С. 112–118.
13. Наумов В. О. Обґрунтування методів демонтажу конструкцій будівель і споруд : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08. Дніпро, 2020. 210 с.
14. Біліченко В. В. Стратегії технічного розвитку автотранспортних підприємств : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2019. 144 с.
15. Петренко О. В., Козак Ю. Г. Організаційно-технологічні аспекти будівництва логістичних центрів в Україні. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2023. № 4 (316). С. 67–78.
16. Сидоренко І. М. Порівняльний аналіз ефективності логістичних комплексів за багатокритеріальними методами. *Логістика та транспорт*. 2024. № 2 (62). С. 34–42.
17. Кравчук О. П. Управління будівельними проєктами логістичної інфраструктури в умовах невизначеності. *Економіка та управління підприємствами*. 2025. № 1. С. 89–102.
18. Лагутчев Д. М. Методичні засади багатокритеріальної оцінки організаційно-технологічних рішень у будівництві логістичних комплексів : матеріали дисертаційного дослідження PhD / Український державний університет науки і технологій. Дніпро, 2026. (у процесі виконання).

References

1. Saaty, T. L. (1990). *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. Pittsburgh: RWS Publications.
2. Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1–29. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028
3. Ishizaka, A., & Labib, A. (2011). Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14336–14345. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.143
4. Derhami, S., Smith, J. S., & Gue, K. R. (2020). A simulation-based optimization approach to design optimal layouts for block stacking warehouses. *International Journal of Production Economics*, 219, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.012
5. Wang, Y., Li, X., & Zhang, Y. (2021). Site selection of cold chain logistics centers based on AHP. *Journal of Physics: Conference Series*, 1884, 012015. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1884/1/012015
6. Zhao, J. (2022). Research on location selection of cold chain logistics distribution center in Dongguan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 987, 012034. https://doi.org/10.1088/1755-1315/987/1/012034
7. Mohammed, A., et al. (2023). Supply chain resilience and warehousing in disruptive environments. *Sustainability*, 15(12), 9456. https://doi.org/10.3390/su15129456
8. Ivanov, D. (2023). Industry 5.0: Circular economy, resilience and human-centricity in logistics. *International Journal of Production Research*, 61(5), 1456–1472. https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2156789
9. Ghobakhloo, M., et al. (2025). Industry 5.0 and warehousing performance management: A systems-informed exploration. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1–25. https://doi.org/10.1080/13675567.2024.2301234
10. Kozak, Yu. H., & Petrenko, O. V. (2023). Zastosuvannia metodu analizu iierarkhii u vybori tekhnolohii lohistychnoho tsentru [Application of the analytic hierarchy process in selecting technologies for a logistics center]. *Visnyk Natsionalnoho Universytetu "Lvivska Politekhnika". Seriia: Budivnytstvo ta Arkhitektura*, 12(45), 78–89.
11. Hrytsyk, V. V. (2024). Bahatokryterialna otsinka orhanizatsiino-tekhnolohichnykh rishen u budivnytstvi skladskykh kompleksiv [Multi-criteria assessment of organizational and technological solutions in warehouse construction]. *Budivnytstvo Ukrainy*, 3, 45–56.
12. Drozd, M. I. (2024). Innovatsiini orhanizatsiino-tekhnolohichni rishennia v monolitnomu budivnytstvi [Innovative organizational and technological solutions in monolithic construction]. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference*. Kharkiv : O. M. Beketov National University of Urban Economy, 112–118.
13. Naumov, V. O. (2020). *Obgruntuvannia metodiv demontazhu konstruktsii budivel i sporud* [Justification of methods for dismantling building structures] (PhD thesis). Dnipro.
14. Bilichenko, V. V. (2019). *Stratehii tekhnichnoho rozvytku avtotransportnykh pidpryiemstv* [Strategies for technical development of motor transport enterprises]. Vinnytsia: VNTU.
15. Petrenko, O. V., & Kozak, Yu. H. (2023). Orhanizatsiino-tekhnolohichni aspekty budivnytstva lohistychnykh tsentriv v Ukraini [Organizational and technological aspects of logistics center construction in Ukraine]. *Visnyk Prydniprovs'koi Derzhavnoi Akademii Budivnytstva ta Arkhitektury*, 4(316), 67–78.
16. Sydorenko, I. M. (2024). Porivnialnyi analiz efektyvnosti lohistychnykh kompleksiv za bahatokryterialnymy metodamy [Comparative analysis of logistics complex efficiency using multi-criteria methods]. *Lohistyka ta Transport*, 2(62), 34–42.
17. Kravchuk, O. P. (2025). Upravlinnia budivelnymy proiektamy lohistychnoi infrastruktury v umovakh nevyznachenosti [Management of construction projects of logistics infrastructure under uncertainty]. *Ekonomika ta Upravlinnia Pidpryiemstvamy*, 1, 89–102.
18. Lahutchev D. M. Methodological principles of multi-criteria assessment of organizational and technological solutions in logistics complex construction: PhD research, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, 2026 (in progress).

MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE CONSTRUCTION OF LOGISTICS COMPLEXES

Abstract. *The construction of logistics complexes is characterized by increasing spatial scale, technological intensity, and organizational complexity, which complicates the objective comparison of alternative design solutions. Existing studies mainly focus on economic indicators or the operational efficiency of logistics processes, while integrated assessment of organizational and technological decisions at the construction stage remains limited.*

This study presents a comparative evaluation of six logistics complexes using an integrated multi-criteria approach based on the Analytic Hierarchy Process (AHP). The proposed model enables the aggregation of heterogeneous characteristics of real facilities into normalized indicators and allows their relative ranking without reliance on absolute parameters such as area or cost.

The results demonstrate that the integral assessment makes it possible to identify different levels of balance in organizational and technological solutions even under similar structural parameters.

The proposed approach expands the toolkit for construction project management in logistics infrastructure by providing a structured basis for the comparative evaluation of alternative solutions at early planning stages. The limitations of the study are related to the expert-based nature

of the assessment and the sample size; further research should focus on expanding the empirical dataset and integrating digital project management environments [1–3].

Key words: logistics complexes, organizational and technological solutions, multi-criteria analysis, analytic hierarchy process, assembly and dismantling works, construction efficiency, construction management, multi-criteria assessment, integral efficiency.

P. I. Nesevria
Ph.D., Associate Professor at the Department of Construction Production Technology,
Ukrainian State University of Science and Technology, Educational and Scientific Institute
"Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture", Dnipro

D. M. Lahutchev
PhD Student at the Department of Construction Production Technology,
Ukrainian State University of Science and Technology, Educational and Scientific Institute
"Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture", Dnipro

Дата першого надходження статті до видання: 11.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

UDC 69.05
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.7

Lepska L. A.,
Ph.D., Associate Professor,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv
ORCID: 0000-0003-3684-7564

NEW URBANISM OF RECONSTRUCTION IN A POST-CONFLICT ENVIRONMENT: PARADIGMS AND PRINCIPLES OF RESTORING THE ARCHITECTURAL FUND DESTROYED AS A RESULT OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

Abstract. *Conflict-affected cities, particularly those in Ukraine, face long-term challenges associated not only with the consequences of war but also with the need for sustainable and integrated reconstruction. The complexity of recovery processes has expanded beyond traditional issues of post-war restoration, preservation of urban heritage, and rebuilding of iconic elements of the built environment to include challenges related to decision-making efficiency, resource management, technological implementation, and financing mechanisms. These factors often lead to prolonged reconstruction cycles lacking coherent long-term planning and management. The full-scale Russian-Ukrainian war has resulted in extensive destruction of residential, public, and industrial facilities, making the prompt, high-quality, and resource-efficient restoration of infrastructure and architectural heritage a national priority. Modern reconstruction strategies increasingly rely on digital and innovative technologies, including BIM, GIS, artificial intelligence, digital twins, and additive manufacturing. However, reconstruction planning focused exclusively on urgent functional needs often leads to the neglect of New Urbanism principles, resulting in fragmented urban environments and the formation of disconnected spatial structures. This article aims to systematize global and Ukrainian paradigms, practices, and case studies of post-conflict reconstruction of destroyed architectural assets within the framework of New Urbanism principles. The methodological basis of the research includes comparative analysis o international reconstruction cases, synthesis of technological and urban planning approaches, and generalization of decision-making models applied in post-war recovery. Particular attention is given to the integration of digital technologies into sustainable urban redevelopment strategies and the preservation of urban identity. The results highlight the importance of aligning technological reconstruction processes with holistic urban development concepts, emphasizing walkability, mixed-use planning, community participation, and environmental sustainability. The proposed conceptual approach contributes to the formation of a resilient and adaptive reconstruction paradigm suitable for the restoration of Ukrainian cities affected by military aggression.*

Key words: Reconstruction, operation, technology, housing destroyed due to Russian aggression, BIM, 3D printing

Introduction. One of the most significant human hazards and calamities is war, which puts social, economic, and cultural institutions including the architecture and urban design of the nations they affect at risk. In turn, the building industry has historically faced a significant challenge: post-conflict reconstruction. Divergent opinions have been voiced by architects, urban planners and designers, and other experts in the built environment regarding the potential, difficulties, and problems that come with rebuilding cities, especially in the housing sector [1]. The key to delivering reconstruction successfully is seen to be post-conflict construction planning.

The military aggression against Ukraine caused large-scale destruction of cities and settlements, especially in the eastern regions of the country. As a result of the fighting, a significant number of residential buildings, critical infrastructure facilities, historical and cultural monuments, and industrial enterprises were damaged or destroyed (as of the beginning of 2024, more than 150 thousand buildings required restoration or complete reconstruction) [2]. The scale of the destruction prompts a rethinking of traditional

approaches to reconstruction the process should include not just the physical restoration of buildings and infrastructure, but a comprehensive revitalization of the urban environment based on the principles of new urbanism. Meanwhile, the urgency of the problem is also enhanced by the limited resources for reconstruction and the need to ensure sustainable development of restored territories in the long term..

Modern technologies for postwar building reconstruction prioritize speed, sustainability, and resilience, utilizing digital advancements, industrialized construction methods, and improved materials to restore infrastructure. Key options include employing BIM (Building Information Modeling) for planning, precast concrete and modular steel for quick assembly, and 3D printing to reduce material waste. Studying and systematizing world experience in this domain is of crucial importance for rebuilding architectural fund destroyed during Russian aggression.

Literature review. Rawat et al. [3] investigated the present applications of advanced digital/Industry 4.0 technologies in post-disaster reconstruction (PDR) with the goal of increasing its efficacy and efficiency, as well as the built environment's sustainability and resilience. The analysis uncovers a constantly changing environment of technological innovation with revolutionary potential for improving the efficiency, efficacy, and sustainability of rebuilding operations, with dominating technologies such as GIS, remote sensing, AI, and BIM.

The impact of wars on the urban environment, post-war architectural trends and reconstruction strategies, the principles of rebuilding the physical structure of buildings, and urban sustainability in post-war reconstruction operations are just a few of the theoretical concepts Zin Eddin [4] discusses.

The use of sustainable building materials and methods is emphasized in a number of studies. Moreno-Sierra et al. [5] investigated the possibilities of using recycled plastics to make emergency shelters that are thermally resilient, showcasing its benefits in terms of price, water resistance, and thermal performance. The viability of constructing shelters with a thermal reflecting multi-layer system was examined by Pusceddu et al. [6], who emphasized the system's energy efficiency and versatility for a range of uses. A requirement-based design approach for sustainable temporary housing units was put forth by Montalbano and Santi [7], who gave low-embodied energy materials, ease of assembly and disassembly, and reuse potential top priority.

BIM is frequently used to expedite the reconstruction process, especially when it comes to assessing building performance and improving construction management. Its application in automating construction permitting procedures is highlighted by Messaoudi and Nawari [8], allowing for quicker code compliance checks and permit issuance. Saeed et al. [9] provide evidence of how BIM can enhance teamwork, resource allocation, and efficiency during the building phase. Additionally, as demonstrated by Chashyn et al. [10], BIM has been used to assess energy use, choose suitable retrofitting techniques, and encourage sustainable building practices.

GIS is essential for community involvement, spatial planning, and damage assessment. Its application in determining damaged areas, evaluating infrastructure requirements, and displaying the level of destruction was demonstrated by Alsous et al. [11]. Additionally, GIS makes it easier to make well-informed decisions on the distribution of resources, the choice of locations, and the inclusion of hazard risk assessments in reconstruction plans. Furthermore, as Dionisio [12] highlights, GIS facilitates the incorporation of local knowledge and participatory planning procedures.

For the management, preservation, and restoration of historic structures especially those damaged by extreme events digital twin models, or DTMs, are essential. By mimicking the effects of disasters, assisting in damage assessment, and promoting effective restoration planning, Cinquepalmi and Cumo [13] investigated the potential of DTMs in protecting cultural assets. DTMs' importance in structural analysis, risk detection, and resource management is demonstrated by their use in the restoration of Notre Dame Cathedral and the Basilica of Saint Francis in Assisi. The use of DTMs for real-time data processing and simulation to assist decision-making in post-disaster reconstruction was covered in the study by Rotilio et al. [14], which helped to create rebuilding methods that are more robust and sustainable.

The problem of reviving Ukrainian cities ravaged by Russian assault, especially in the eastern regions, is discussed in the paper by Ukrainian researchers Cherkes et al. [2]. In addition to physical rebuilding techniques, the study looks at holistic approaches to urban

environment renewal that take social, cultural, and ecological factors into account. In order to find effective tactics that might be modified for the Ukrainian setting, the study examines post-conflict urban reconstruction experiences from across the world, with particular reference to Sarajevo, Berlin, Warsaw, and Beirut.

Volozhinska and Tochenyuk [15] examine digital and innovative technologies used in the design of reconstruction of damaged buildings in the post-war period. The emphasis is made on BIM, 3D scanning, parametric design, and digital management platforms. The advantages of their use for accelerating and optimizing the process of restoring infrastructure facilities are shown.

Lavrukhina et al. [16] investigate the use of innovative materials, such as environmentally friendly concrete and 3D printing of building structures, which reduce time and resource consumption. The article analyzes the role of digital technologies, such as BIM, in optimizing the planning, management and monitoring processes of reconstruction projects.

The usual destruction of high-rise residential buildings made of prefabricated reinforced concrete is examined by Fedorenko and Sopov [17]. Damaged and partially destroyed multi-story buildings can be restored using the Speedstac modular construction solution technology developed by the Canadian architectural company WZMH Architects and its research laboratory Sparkbird. An illustration of how this approach was used to restore one of the Pivdenniy Saltivka districts in Kharkiv is provided.

In December 2025, representatives of GIZ Ukraine, together with partners, presented a fundamental study on the restoration of apartment buildings in Kryvyi Rih the book "Architecture of Restoration. Rehabilitation of War-Damaged Housing in Kryvyi Rih", which offers practical solutions for the restoration of housing destroyed as a result of the war in Ukraine [18]. The publication provides cases from a pilot project on the restoration of a typical multi-storey residential building of the 94 series, common in Ukraine in the 1960s–1990s. The authors outline a consistent, step-by-step approach to restoration from ensuring basic safety to further modernization [18].

However, while really innovative solutions and concepts are suggested for reconstruction domain, alignment with integrative urbanism framework is rarely considered, and this constitutes significant gap, which can eventually lead to unsustainable decisions for reconstruction projects.

Aim of the study. The study aims at outlining the principles of aligning architectural fund reconstruction with the urban landscape within the framework of new urbanism, based on systematizing appropriate world experience and suggesting its adoption for Ukraine.

Results and Discussion. Rebuilding residential neighborhoods and entire cities is one of the key tasks of recovery in Ukraine. According to experts, among the main technologies that will have an impact on the country's recovery, there may be Digital Twins, IoT, and other modern solutions for construction [19]. Lavrukhina

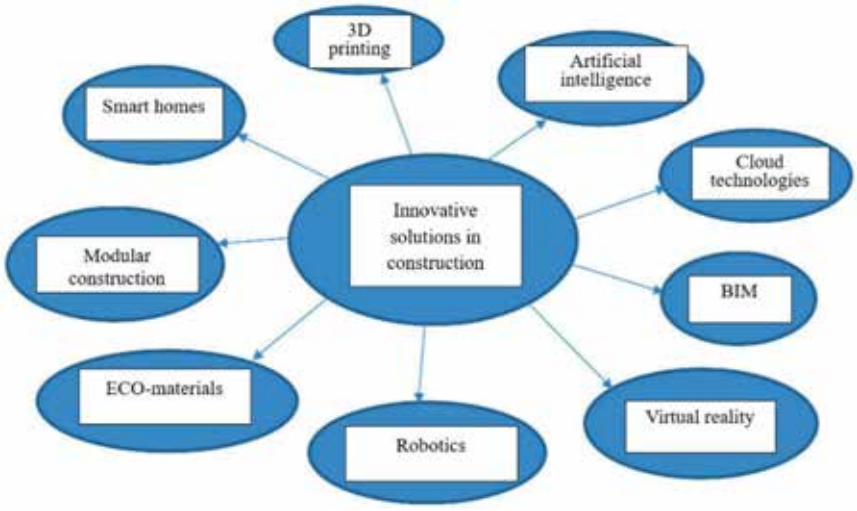


Fig. 1. Overview of innovative approaches and solutions in construction
Source: [16]

et al. [16] provide an overview of innovative approaches and solutions in construction, in a schematic representation (see Fig. 1).

Meanwhile, Ukraine often follows the path of quick solutions and opaque schemes, which ultimately leads to corruption during construction and additional costs for the operation of the house. In particular, in Ukraine there are no such requirements as, for example, in Poland, for insulation of walls, floors, windows, the presence of a heat pump, solar panels, effective ventilation with recuperation. Therefore, new houses require more resources for operation. Reconstruction according to outdated, although relevant, building codes leads to inefficient use of resources or violation of standards.

According to the Confederation of Builders of Ukraine, the reconstruction of the housing stock destroyed by the war alone will require at least 3.9 million square meters of glass, 5.7 million cubic meters (11.9 million tons) of concrete, 39.3 million cubic meters (or 14 billion pieces) of bricks, and 45 million square meters of roof tiles. All of this is in addition to the usual average annual consumption of such products [20]. Even this list of building materials itself clearly demonstrates the "old" approaches to construction and reconstruction. This picture becomes even more disappointing if to consider the fact that in Ukraine there are no safeguards against the overuse of building materials where it is inappropriate, for example, pouring hundreds of tons of concrete into the ground just for the foundation of a one-story house for one family. For example, in a project currently under reconstruction in the Kherson region, an incredible amount of concrete and other building materials is laid in a one-story house with an area of 70 m^2. There is no shelter or cellar in the house, but the total weight of the concrete in the foundation (which will be hidden under the floor) is over 150 tons. This is actually three railway cars. From this amount of concrete, a solid bunker (walls, floor, and roof) with an area of over 100 m^2 can be cast, but the walls of this house are made of light aerated concrete, while the heavy concrete is buried in the ground. Meanwhile, this amount of concrete could be enough for the foundations of half of the houses in the village [21].

The construction and reconstruction are not aligned with the new urbanism paradigm. The SvitloPark residential complex in the industrial zone of Kyiv is one of the vivid examples of violation of the principles of modern urban planning. The complex is located between the CHP plant and the cement plant, in the immediate vicinity of the railway. The road from the metro passes under the railway and road bridges, and to drive into the complex by car, one either has to go to the intersection a few kilometers away, where it is possible to cross the highway under the bridge, or turn back, in front of the "Vydubychy" metro, and drive through narrow congested roads near concrete mixers and factories to the complex's parking lot. Although the construction of this residential complex began in the pre-war period, there are also many similar projects within the framework of today's reconstruction.

It should also be noted that the restoration of the architectural fund and the urban environment is not limited to the reconstruction of buildings and infrastructure. An equally important component is social and landscape revitalization, which is aimed at restoring social ties, creating comfortable public spaces, and shaping sustainable urban ecosystems. According to New Urbanism, post-conflict space restoration aims to restore devastated cities by giving community-driven growth, sustainability, and human-scaled design precedence over quick, top-down rehabilitation. Instead of only rebuilding damaged infrastructure, this strategy aims to create durable, walkable, mixed-use urban landscapes that improve public life and social cohesion.

Selecting the best reconstruction option is a complex process that requires a systematic approach and informed decisions, which can be achieved through the application of the analytic hierarchy process. The application of the analytic hierarchy process provides effective problem solving in a variety of fields. It provides a systematic and logical approach to the analysis of hierarchical systems, which contributes to obtaining more informed results [22]. The algorithm for applying the analytic hierarchy process includes several stages (Fig. 2).

To justify the selection of the optimal reconstruction option, it is necessary to establish criteria that will be used in the hierarchy analysis. Examples of such criteria may include capital investments allocated for the reconstruction, completion timeframes, availability of utility infrastructure, compliance with safety requirements, physical deterioration of the reconstructed facility, sustainability, and many others. A general view of the three-level hierarchy is shown in Figure 3.

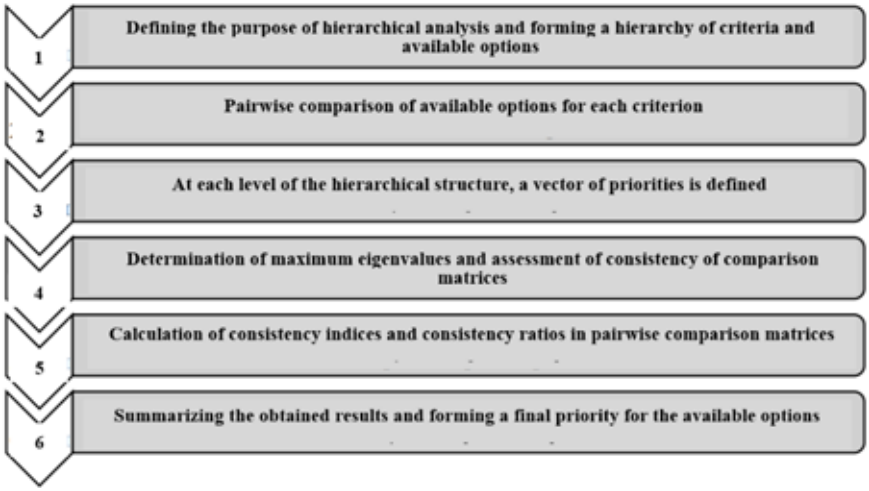


Fig. 2. Algorithm for applying the analytic hierarchy process method
Source: [22]

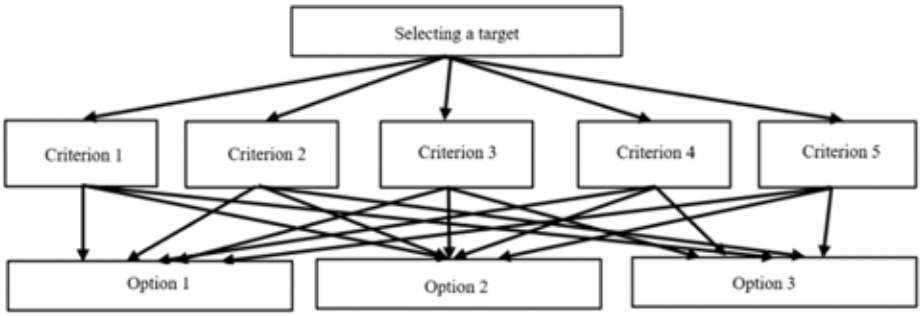


Fig. 3. Hierarchical structure of the choice problem in generalized form
Source: [22]

The structure combines the goal P, criteria $K = \{Kj\}$ and options $AP = \{APi\}$, i.e., those objects of the hierarchy that essentially influence the choice of the best solution option A^* according to the set goal P. It should be noted that the authors propose three main options for the reconstruction of buildings: partial, complete, and building transformation (Fig. 4).

The study by Tabbakh et al. [23] suggests an Algorithmic Retrofitting Workflow (ARW) to handle the problem of maintaining a city's identity during post-war reconstruction (PWR). Retrofitting cratered walls a common problem seen in damaged residential buildings in post-war Syria is the study's main focus. This algorithmic, adaptive reconstruction was created in a controlled

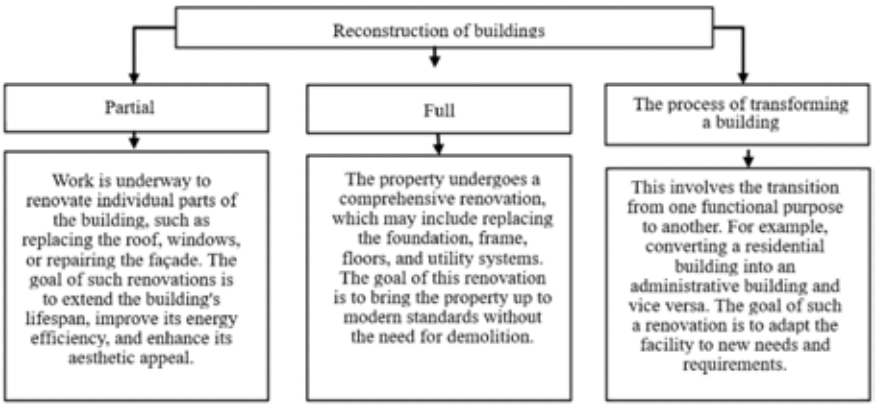


Fig. 4. Options for building reconstruction
Source: [22]

setting, evaluated using publicly available data, and used in scanned environments from the real world. By adjusting to the intricate crater shape, the retrofitting solutions produce solutions that use both standard and specialized bricks to address the damage. The outcomes of ARW provide an alternative to tearing down broken structures, which is a popular fix but destroys a city's identity. Seven recurrent damage typologies were found in the 61 structures examined in post-war Syria using a remote visual survey using Google Street View (GSV). Three main groups were established for these damage typologies [23]:

1. Moderately Damaged (little non-structural damage, 5–30 % collapse):

– Openings in non-load-bearing walls are known as a "cratered wall".

– Broken window with slight wall damage is called a "blown-out window".

– Bullet Pitting: Surface impact marks that are not very deep.

– Charring: Burn markings from explosions or fire.

2. Severe Damage (large structural damage, 30–75 % collapse)

– Partial Damage: A sizable portion of the building's framework gave way.

– Top Floor Damage: Roof and slab damage to the upper floor.

3. Complete Damage (severe or complete structural loss, 75–100 % collapse). One representative building for each damage typology is depicted in Figure 5. With 58 % of the 38 moderately damaged buildings in the GVS dataset having a cratered wall, this damage typology was the most prevalent among all of the structures with moderate damage.

To model retrofitting cratered walls in a post-war Syrian residential building, a single algorithmic parametric approach was created. Reusing buildings that were physically sound but damaged rather than tearing them down was the goal. To depict the damaged curve and the region where the retrofitting procedure (ARW) is used, the crater-affected area was manually traced as a closed polyline (Figure 6).

Fig. 5. Damage catalog in post-war Syria

Source: [23]

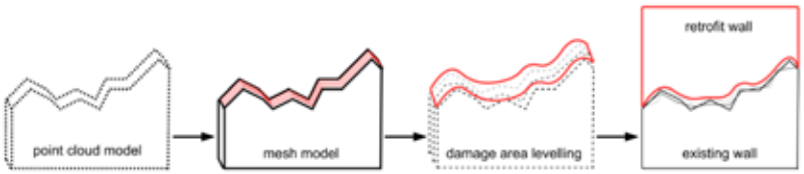


Fig. 6. Retrofit area extraction process

Source: [23]

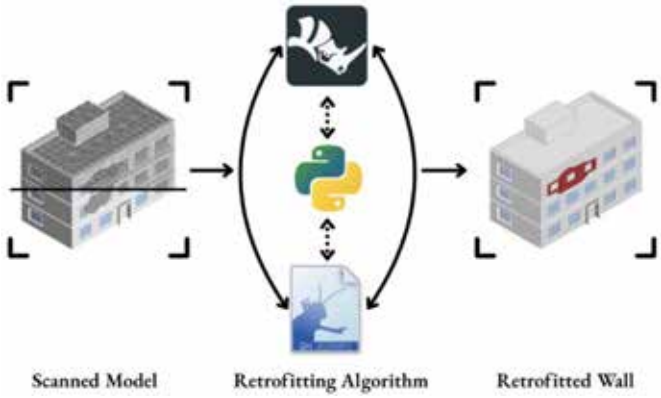


Fig. 7. Digital tools used for ARW's digital workflow

Source: [23]

The base model was built using Rhinoceros 3D. The ARW scripting was then done using Grasshopper, and the following crucial steps were carried out using GhPython components: (1) Brick pattern generation, (2) Lintel formation, (3) Non-standard brick generation, and (4) Clustering non-standard bricks. A versatile digital approach that adjusts to different crater damage curves for retrofitting is made possible by these technologies working together (Figure 7).

According to scientists, BIM is the instrument that will transform the building sector in underdeveloped nations [24]. However, BIM is not widely used in these nations for construction project planning and management, especially in post-conflict settings [25]. Conventional methods are used in the planning, design, implementation, and building of construction in emerging nations like Iraq. It has been demonstrated that these approaches are ineffective and perform poorly [26]. Conventional construction is still common in developing nations, despite the pressing need for efficient construction techniques in post-conflict environments. Implementing BIM for post-conflict city rehabilitation in Iraq has received little to no attention [27]. As a result, the issue is becoming more complicated because traditional construction is no longer considered a viable option for rebuilding Iraqi cities after the war. A few studies [9] have demonstrated the necessity and need for Iraq to embrace BIM. Iraq's building industry is seeing a surge in demand for both new construction and post-conflict reconstruction. With an annual budget for the building industry determined by the government, private sector, and non-governmental organizations, there is especially strong backing for reconstruction in Iraq. Therefore, it is imperative that a workable and efficient plan for rebuilding post-conflict cities be adopted in order to comply with reconstruction procedures in Iraq. Since housing development is still one of the biggest obstacles to post-conflict city restoration, this is particularly significant.

Experts' qualitative interviews in the Saeed et al. study [9] offered a strategy for rehabilitating the city's prefabricated housing industry. This mostly relies on the idea of recycling and repurposing post-conflict waste as building materials. For example, the respondents recommended recycling cement rubble and using it to make cement slab constructions and wall panels. The interviews also recommended reusing the stone material for the new housing units' facade covering and recycling it on-site. On-site recycling of steel, plastic, and other durable materials was one of the recommendations. These recommendations will be taken into account while testing BIM applications and were incorporated into the development of the housing paradigm. A dwelling paradigm was developed as a result of this phase's qualitative interviews and expert input on the previous phase's schematic suggestions. The prefabrication approach was used to model the created paradigm as a BIM asset using Autodesk Revit 2020. The developed dwelling paradigm is shown in Figure 8.

Overall, using the city of Mosul as a case study, the research by Saeed et al. [9] demonstrates the potential of BIM applications in post-conflict environments. For Ukraine, such findings are especially important, bearing in mind critical damages of energy infrastructure and, thus, significant importance of buildings' energy efficiency.

Additive manufacturing, or 3D printing, is another useful method for rebuilding damaged

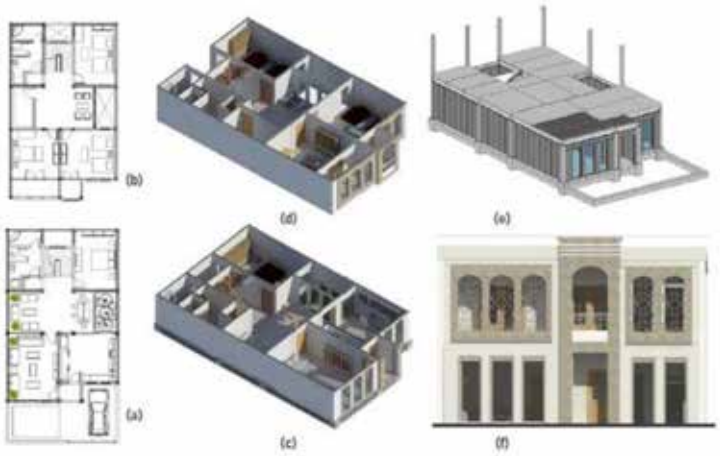


Fig. 8. Prefabrication prototype; (a) Ground floor plan, (b) First floor plan, (c) Ground floor model, (d) First floor Model, (e) Unit structure (prefabrication elements), (f) House unit model
Source: [9]

architectural funds. A smaller model of the Monumental Arch of Palmyra was created in 2015 by the business D-shape and the Institute of Digital Archaeology using a CNC machine on marble blocks. Conflictual events caused significant damage to the arch, and Palmyra's location was unreachable for a considerable amount of time. The scientific community at the time supported a drive to compile a collection of local photographs in order to use photogrammetry to generate a digital model. In order to continue promoting documentation and increase awareness of the arch's cultural significance, a symbolic recreation was then shown. In this situation, robotics can respond quickly to a loss of culture and provide resources for successful rehabilitation when local socio-political unrest has passed [28].

Additive fabrication is taken into consideration for rehabilitation projects by Turk and Weheba [29]. This research proof that Polyblend Calcium Carbonate (Grout) powder may be utilized as a construction material on the ZPrinter 450 Binder Jetting 3D printer. Applications for this kind of material in the restoration of historic buildings appear promising. The 3D printing of ornamental tiles and mosaics is one use for this study (PEI 0). These 3D-printed tile items can be utilized to decorate the walls of hotels, churches, mosques, and historic buildings. An ideal use for this research would be the restoration or recreation of a historic façade. The technique enables the smooth integration of precise duplicates of sensitive components into pre-existing structures by using digital 3D scanners and computer-aided designs.

For the repair of antique buildings, Kaya [30] offers 3D printed concrete columns (concrete choreography) in his thesis. At ETH Zurich, these columns were designed and constructed. The primary goal of the study was to examine a novel concrete typology, showcasing the exceptional architectural attributes made possible by 3DCP. Mesh subdivision and trigonometric function-based procedural computational design engines were created and used (Fig. 9). A double shell and internal bracing have been incorporated into the design of each column (Fig. 10). The inner shell was intended to serve as a cavity for conventional reinforced concrete, while the outer shell, which ranges in size from 0.25 to 0.6 meters, has an ornamental façade. These shells were joined by internal bracing in each layer. In addition to providing a closed core and supporting the neighboring layers, the internal bracing also enhances the overhang for column geometry.

Linking digital design and digital building processes is made possible by the digitization of construction sites undergoing repair. Even with the most cutting-edge technologies, however, a lack of reconstruction that is in line with the overall urban concept in its post-conflict development can result in an unsustainable landscape, particularly car-dependent, polluted, and disconnected cities due to urban sprawl, excessive highway construction, and a lack of green spaces, which exacerbates pollution, social isolation, and poor public health.

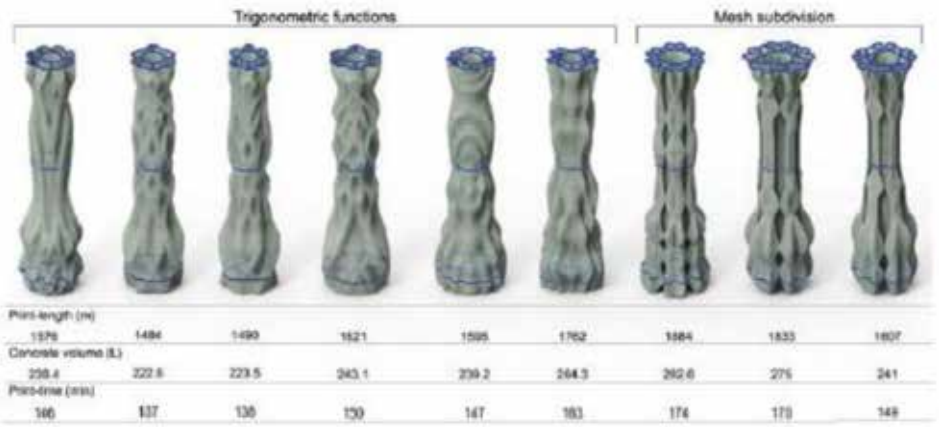


Fig. 11. Trigonometric functions and mesh subdivision
Source: [30]

Fig. 12. Double shell composition and internal bracing
Source: [30]

The work by Rezk et al. [31], which presents a novel assessment methodology designed for the initial management of blast-damaged reinforced concrete buildings without structural collapse risk, is particularly pertinent in this context. The authors stress that in the context of post-war recovery, evaluating and reconstructing blast-damaged buildings without a risk of structural collapse pose significant problems. The model, which was developed using the Integrated Value Model for Sustainable Assessment and improved via the Delphi method, gives stakeholders a useful tool to assess various reconstruction scenarios, such as demolition, restoration with preservation for future work, refurbishment, and reconstruction with retained identity. A case study of a tourist hotel in Damascus' historic district is used for validation; the building's structural collapse risk was found to be zero. According to the findings, "refurbishment" is the most environmentally and socially sustainable choice, while "preservation for future work" is the most environmentally friendly. In order to develop resilient and sustainable post-war reconstruction plans that honor heritage contexts, this study emphasizes the significance of thorough damage assessments and sustainability-focused techniques.

The MIVES–Delphi model does, in fact, provide a methodical and adaptable framework for evaluating and ranking reconstruction options. It allows stakeholders to prioritize economic, environmental, and social factors based on project-specific criteria, which makes it especially useful in situations with limited resources, as is now the case in Ukraine, particularly in small-city communities.

One promising way to improve the accuracy and effectiveness of sustainability evaluations is through the incorporation of cutting-edge technology like BIM and GIS. While GIS supplies information about the building's surrounds, BIM includes detailed information about the building itself, resulting in a comprehensive view that is crucial for complicated projects.

However, despite its strength, BIM still depends on human creativity and labor. AI can help in this situation, to create a more sustainable built environment by optimizing building design for resource and energy reduction. Furthermore, AI can create sustainable and livable urban environments by evaluating data on demographics, transportation trends, and environmental factors a crucial aspect of modern urbanism. These technologies could greatly improve decision-making and offer more thorough assessments of reconstruction options when incorporated into the MIVES–Delphi framework.

Ukrainian architects began to recreate destroyed buildings using AI. For example, the architectural company Balbek bureau visualizes the reconstruction of urban structures destroyed during hostilities. The company's architects use the Stable Diffusion generative neural network, which, at the architect's request, first blurs the image of a destroyed building and then gradually restores its structures and color schemes. AI allows models to be recreated from a few simple images, and the conversion of text information to 3D is already becoming a reality [32]. Text-to-BIM applications are being actively implemented, allowing users to create detailed models of buildings using text prompts and specialized BIM CAD tools.

Meanwhile, within the framework of new urbanism, socio-psychological dimensions are no less important than purely 'physical' amenities. A case presented by Badescu [33] clearly demonstrates it. According to the authors, resolving the past through architectural reconstruction entails both (re)creating a sense of belonging for both newcomers and locals, in addition to resolving the conflict from the past. Badescu [33] demonstrates how, throughout restoration, Sarajevo transformed into a hub of global capital that was altering the city to suit different agendas without any local participation. For example, locals in Marijin Dvor asked why trees that were part of the original plan were not included while the Sarajevo City Center was being built. Their desire to restore the trees was denied after they were informed that they would obstruct the building's view. Like with the construction of new structures, including places of worship, reconstruction projects were top-down, and locals were only allowed to see and not participate in the process of creating their city. This case should be carefully examined by the participants and stakeholders of Ukrainian urban reconstruction projects, to avoid negative potential of not following new urbanism principles.

New approaches and progressive methods are required in progressive crisis situations. A comprehensive approach to the "big picture" is a prerequisite for any sustainable development endeavor when the main goal is to restore livelihoods and a community in a traumatized environment. This calls for the cooperation of many professional actors and multidisciplinary approaches.

Conclusions. Rebuilding a post-conflict urban space is by no means an easy endeavor, especially as each situation has its own set of complexity, obstacles, and nuances. Reconstruction has typically been viewed as a functional process that prioritizes immediate demands, particularly those of emergency housing for bombing victims and displaced people, as well as infrastructure rehabilitation. However, in the modern world, the integration of New Urbanism concepts with advanced technology such as BIM, GIS, and AI implies rethinking urban rebuilding and post-conflict urban planning. Traditional architecture is transformed into data-driven, resilient, and sustainable urban development via this synergy. At the same time, the domain of reconstruction of destroyed architectural fund in Ukraine is still characterized with somewhat chaotic nature and lags behind this contemporary paradigm. This necessitates conducting thorough research of world best practices and designing a national paradigm, adopted to all specific conditions.

Bibliography

1. Tortorici G., Fiorito F. Building in post-war environments. Procedia Engineering. 2017. Vol. 180. P. 1093–1102. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.269
2. Cherkes B., Pohranychna I., Rosliakov M. Revitalization of cities damaged by Russian aggression in Eastern Ukraine. Series Architecture. 2025. Vol. 7. No. 2. P. 139-148. https://doi.org/10.23939/sa2025.02.139
3. Rawat A. et al. Advanced Digital Technologies in the Post-Disaster Reconstruction Process A Review Leveraging Small Language Models. Buildings. 2024. Vol. 14, No. 11. Article 3367. https://doi.org/10.3390/buildings14113367
4. Zin Eddin M. Post-War Reconstruction of Cities (Reconstruction of Baba Amr Neighbourhood in the City of Homs, Syria). Builder. 2024. Vol. 72. P. 1–7.
5. Moreno-Sierra A., Pieschacón M., Khan A. The use of recycled plastics for the design of a thermal resilient emergency shelter prototype. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020. Vol. 50. Article 101885. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101885
6. Pusceddu C. et al. The use of building technology to support disaster resilience: the case study of air shelter house. International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment. 2017. Vol. 8. No. 02. P. 139–157. https://doi.org/10.1108/IJDRBE-11-2015-0057
7. Montalbano G., Santi G. Sustainability of temporary housing in post-disaster scenarios: A Requirement-Based Design Strategy. Buildings. 2023. Vol. 13. No. 12. Article 2952. https://doi.org/10.3390/buildings13122952

8. Messaoudi M., Nawari N. O. (2020). BIM-based Virtual Permitting Framework (VPF) for post-disaster recovery and rebuilding in the state of Florida. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020. Vol. 42. Article 101349. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101349
9. Saeed Z. O. et al. (2021). BIM applications in post-conflict contexts: the reconstruction of Mosul city. Buildings. 2021. Vol. 11. No. 8. P. 351. https://doi.org/10.3390/buildings11080351
10. Chashyn D., Khurudzhi Y., Daukšys M. Integration of Building Information Modeling and Artificial Intelligence of Things in the Post-War Reconstruction and Renovation of Buildings. Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering. 2024. Vol. 35. No. 2. P. 117-132. https://doi.org/10.5755/j01.sace.35.2.35160
11. Alsous M. M., Scherbina E., Ghada R. Advanced analysis technology in reshaping post war cities (Palmyra-Syria). IFAC-PapersOnLine. 2019. Vol. 52. Iss. 25. P. 240-245. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.480
12. Dionisio M. R. et al. Geospatial tools for community engagement in the Christchurch rebuild, New Zealand. Sustainable Cities and Society. 2016. Vol. 27. P. 233-243. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.007
13. Cinquepalmi F., Cumo F. Using Digital Twin Models (DTM) for Managing, Protecting and Restoring Historical Buildings. Conservation Science in Cultural Heritage. 2022. Vol. 22. https://doi.org/10.6092/issn.1973-9494/17364
14. Rotilio M., Villa V., Corneli A. Digital Twin for a resilient management of the built environment. In Proceedings of the 2023 IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment, 2023, May. MetroLivEnv. P. 113–117.
15. Воложинська О. О., Точенюк О. В. Інноваційні технології проєктування повоєнного відновлення пошкоджених будівель. Інформаційні технології в сучасному світі: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, 29 квітня 2025 р. Харків: ДБТУ, 2025. С. 387–388.
16. Лаврухіна К., Титок В., Кравчук О. Інноваційні підходи та рішення вітчизняних будівельних підприємств для відновлення повоєнної України. Будівельне Виробництво. 2024. № 77. С. 85–91.
17. Федоренко Ю, Сопов В. Технологія модульного будівельного рішення Speedstac для відновлення зруйнованого житла в Україні. Науковий Вісник Будівництва. 2022. № 108. Вип. 2. URL: https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/16
18. Meuser Ph., Markov O. Architecture of recovery rehabilitation of war-damaged housing in Kryvyi Rih. Berlin: DOM Publishers. 2025. 75 p.
19. Братчук Д. ІТ напоготові: які технології стануть у пригоді у відбудові України. Mind. 27 березня 2023 р. URL: https://mind.ua/openmind/20255115-it-napogotovi-yaki-tehnologiyi-stanut-u-prigodi-u-vidbudovi-ukrayini
20. Повоєнне відновлення: шанс для розвитку будіндустрії. Ukrinform. 1 квітня 2023 р. https://www.ukrinform.ua/rubric-vidbudova/3690313-povoenne-vidnovlenna-sans-dla-rozvitku-budindustrii.html
21. Гречух О. Марні витрати енергії та ресурсів. Що не так із відбудовою України й що запозичити в Польщі. *Texty*. 21 листопада 2023 р. URL: https://texty.org.ua/articles/111150/ukrayina-chy-znovu-sovok-jak-varto-zminyty-pidkhody-do-vidbudovy-i-shcho-zapozychyty-v-polshchi/?src=main
22. Andras S. Building Design and Construction: An Architect's Perspective. Hoboken: Wiley. 2025. 224 p.
23. Tabbakh Y., Rogeau N., Ileda Y. Architectural Informatics as a Tool for Adaptive Reconstruction: Retrofitting Post-war Syria. In; Proceedings of the Conference ASCAAD 2025, Riyad, Saudi Arabia. P. 356–373.
24. Olawumi T. O., Chan D. W. Development of a benchmarking model for BIM implementation in developing countries. Benchmarking: An International Journal. 2019. Vol. 26. No. 4. P. 1210-1232. https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2018-0138
25. Assem A., Abdelmohsen S., Ezzeldin M. Smart management of the reconstruction process of post-conflict cities. Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research. 2020. Vol. 14. No. 2. P. 325–343. https://doi.org/10.1108/ARCH-04-2019-0099
26. Hadi Z. S. A Review paper on Benefits of BIM Adoption to Improve project performance in Iraqi Construction Industry. International Journal of Contemporary Applied Researches, 7. 2020. Vol. 10. P. 81-108. https://ijcar.net/assets/pdf/Vol7-No10-October2020/6.-A-Review-paper-on-Benefits-of-BIM-Adoption-to-Improve-project-performance-in-Iraqi-Construction-Industry.pdf
27. Hatem W. A., Abd A. M., Abbas N. N. (2018). Barriers of adoption building information modeling (BIM) in construction projects of Iraq. Engineering Journal. 2018. Vol. 22. No. 2. P. 59-81. https://doi.org/10.4186/ej.2018.22.2.59
28. Codarin S. Additive Manufacturing Technologies in Restoration: An Innovative Workflow for Interventions on Cultural Heritage. Cubic Journal. 2020. P. 32-55. https://doi.org/10.31182/cubic.2020.3.023
29. Turk A., Weheba G. (2024). Restoring historical buildings using additive manufacturing. The Journal of Management and Engineering Integration. 2024. Vol. 17. No. 1. P. 10-20. https://doi.org/10.62704/10057/28081
30. Kaya P. Applications of Additive Manufacturing in Construction and Historic Building Restoration / Rehabilitation. [Master's thesis]. University of Bologna. 2021. 91 p.
31. Rezk J., Pons-Valladares O., Muñoz-Blanc C. Evaluating Sustainability in Post-Conflict Reconstruction: A Case Study of Blast-Damaged Buildings Without Structural Collapse Risk in Syria. Buildings. 2025. Vol. 15. No. 3. Article 369. https://doi.org/10.3390/buildings15030369
32. Krasniy E. Prospects for using AI in architectural design for the restoration of Ukraine. Theory and Practice of Design. 2024. Vol. 37. P. 133–141. https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.37.12
33. Badescu G. Dwelling in the Post-War City Urban Reconstruction and Home-Making in Sarajevo. Revue d'études comparatives Est-Ouest. 2015. Vol. 4. No. 46. P. 35-60. https://doi.org/10.3390/books978-3-03897-871-8-19

References

1. Tortorici, G., & Fiorito, F. (2017). Building in post-war environments. Procedia Engineering, 180, 1093–1102. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.269
2. Cherkes, B., Pohranychna, I., & Rosliakov, M. (2025). Revitalization of cities damaged by Russian aggression in Eastern Ukraine. *Series Architecture, 7*(2), 139-148. https://doi.org/10.23939/sa2025.02.139
3. Rawat, A., Witt, E., Roumyeh, M., & Lill, I. (2024). Advanced Digital Technologies in the Post-Disaster Reconstruction Process A Review Leveraging Small Language Models. *Buildings, 14*(11), 3367. https://doi.org/10.3390/buildings14113367
4. Zin Eddin, M. (2024). Post-War Reconstruction of Cities (Reconstruction of Baba Amr Neighbourhood in the City of Homs, Syria). *Builder, 72*, 1–7.
5. Moreno-Sierra, A., Pieschacón, M., & Khan, A. (2020). The use of recycled plastics for the design of a thermal resilient emergency shelter prototype. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 50*, 101885. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101885
6. Pusceddu, C., Blumberg, G., Salvalai, G., & Imperadori, M. (2017). The use of building technology to support disaster resilience: the case study of air shelter house. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, 8*(02), 139–157. https://doi.org/10.1108/IJDRBE-11-2015-0057
7. Montalbano, G., & Santi, G. (2023). Sustainability of temporary housing in post-disaster scenarios: A Requirement-Based Design Strategy. *Buildings, 13*(12), 2952. https://doi.org/10.3390/buildings13122952
8. Messaoudi, M., & Nawari, N. O. (2020). BIM-based Virtual Permitting Framework (VPF) for post-disaster recovery and rebuilding in the state of Florida. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 42*, 101349. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101349
9. Saeed, Z. O., Almukhtar, A., Abanda, H., & Tah, J. (2021). BIM applications in post-conflict contexts: the reconstruction of Mosul city. *Buildings, 11*(8), 351. https://doi.org/10.3390/buildings11080351
10. Chashyn, D., Khurudzhi, Y., & Daukšys, M. (2024). Integration of Building Information Modeling and Artificial Intelligence of Things in the Post-War Reconstruction and Renovation of Buildings. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering, 35*(2), 117–132. https://doi.org/10.5755/j01.sace.35.2.35160
11. Alsous, M. M., Scherbina, E., & Ghada, R. (2019). Advanced analysis technology in reshaping post war cities (Palmyra-Syria). *IFAC-PapersOnLine, 52*(25), 240–245. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.480
12. Dionisio, M. R., Kingham, S., Banwell, K., & Neville, J. (2016). Geospatial tools for community engagement in the Christchurch rebuild, New Zealand. *Sustainable Cities and Society, 27*, 233-243. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.007
13. Cinquepalmi, F., & Cumo, F. (2022). Using Digital Twin Models (DTM) for Managing, Protecting and Restoring Historical Buildings. *Conservation Science in Cultural Heritage, 22*. https://doi.org/10.6092/issn.1973-9494/17364
14. Rotilio, M., Villa, V., & Corneli, A. (2023, May). Digital Twin for a resilient management of the built environment. In Proceedings of the 2023 IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment, MetroLivEnv (pp. 113–117).
15. Volozhinska, O. O., & Tochenyuk, O. V. (2025). Innovative technologies for designing post-war restoration of damaged buildings. In: Proceedings of Information technologies in the modern world: materials of the International Scientific and Practical Conference of Higher Education Applicants and Young Scientists, April 29, 2025. Kharkiv : DBTU, 2025 (pp. 387–388).
16. Lavrukhina, K., Tytok, V., & Kravchuk, O. (2024). Innovative approaches and solutions of domestic construction enterprises for the restoration of post-war Ukraine. *Construction Production, 77*, 85–91.
17. Fedorenko, Yu., & Sopov, V. (2022). Technology of the modular construction solution Speedstac for the restoration of destroyed housing in Ukraine. *Scientific Bulletin of Construction, 108*(2), https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/16
18. Meuser, Ph., & Markov, O. (2025). *Architecture of recovery rehabilitation of war-damaged housing in Kryvyi Rih*. DOM Publishers.
19. Bratchuk, D. (2023, March 27). IT ready: what technologies will be useful in the reconstruction of Ukraine. *Mind*. https://mind.ua/openmind/20255115-it-napogotovi-yaki-tehnologiyi-stanut-u-prigodi-u-vidbudovi-ukrayini
20. Post-war recovery: a chance for the development of the construction industry (2023, April 1). *Ukrinform*. https://www.ukrinform.ua/rubric-vidbudova/3690313-povoenne-vidnovlenna-sans-dla-rozvitku-budindustrii.html
21. Grechukh, O. (2023, November 21). Wasteful expenditure of energy and resources. What is wrong with the reconstruction of Ukraine and what to borrow from Poland. *Texty*. https://texty.org.ua/articles/111150/ukrayina-chy-znovu-sovok-jak-varto-zminyty-pidkhody-do-vidbudovy-i-shcho-zapozychyty-v-polshchi/?src=main
22. Andras, S. (2025). *Building Design and Construction: An Architect's Perspective*. Wiley.
23. Tabbakh, Y., Rogeau, N., & Ileda, Y. (2025). Architectural Informatics as a Tool for Adaptive Reconstruction: Retrofitting Post-war Syria. In; Proceedings of the Conference ASCAAD 2025, Riyad, Saudi Arabia (pp. 356–373).
24. Olawumi, T. O., & Chan, D. W. (2019). Development of a benchmarking model for BIM implementation in developing countries. *Benchmarking: An International Journal, 26*(4), 1210-1232. https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2018-0138
25. Assem, A., Abdelmohsen, S., & Ezzeldin, M. (2020). Smart management of the reconstruction process of post-conflict cities. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research, 14*(2), 325–343. https://doi.org/10.1108/ARCH-04-2019-0099
26. Hadi, Z. S. (2020). A Review paper on Benefits of BIM Adoption to Improve project performance in Iraqi Construction Industry. *International Journal of Contemporary Applied Researches, 7*(10), 81–108. https://ijcar.net/assets/pdf/Vol7-No10-October2020/6.-A-Review-paper-on-Benefits-of-BIM-Adoption-to-Improve-project-performance-in-Iraqi-Construction-Industry.pdf
27. Hatem, W. A., Abd, A. M., & Abbas, N. N. (2018). Barriers of adoption building information modeling (BIM) in construction projects of Iraq. *Engineering Journal, 22*(2), 59–81. https://doi.org/10.4186/ej.2018.22.2.59

28. Codarin, S. (2020). Additive Manufacturing Technologies in Restoration: An Innovative Workflow for Interventions on Cultural Heritage. *Cubic Journal*, 32–55. https://doi.org/10.31182/cubic.2020.3.023
29. Turk, A., & Weheba, G. (2024). Restoring historical buildings using additive manufacturing. *The Journal of Management and Engineering Integration, 17*(1), 10–20. https://doi.org/10.62704/10057/28081
30. Kaya, P. (2021). Applications of Additive Manufacturing in Construction and Historic Building Restoration / Rehabilitation. [Master's thesis]. University of Bologna.
31. Rezk, J., Pons-Valladares, O., & Muñoz-Blanc, C. (2025). Evaluating Sustainability in Post-Conflict Reconstruction: A Case Study of Blast-Damaged Buildings Without Structural Collapse Risk in Syria. *Buildings, 15*(3), 369. https://doi.org/10.3390/buildings15030369
32. Krasniy, E. (2024). Prospects for using AI in architectural design for the restoration of Ukraine. *Theory and Practice of Design, 37*, 133–141. https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.37.12
33. Badescu, G. (2015). Dwelling in the Post-War City Urban Reconstruction and Home-Making in Sarajevo. *Revue d'études comparatives Est-Ouest, 4*(46), 35–60. https://doi.org/10.3390/books978-3-03897-871-8-19

НОВА УРБАНІСТИКА РЕКОНСТРУКЦІЇ У ПОСТ-КОНФЛІКТНОМУ СЕРЕДОВИЩІ: ПАРАДИГМИ ТА ПРИНЦИПИ ВІДНОВЛЕННЯ АРХІТЕКТУРНОГО ФОНДУ ЗРУЙНОВАНОГО ВНАСЛІДОК РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

Анотація. *Міста, розташовані в зонах конфліктів, зокрема в Україні, постійно стикаються з труднощами як наслідків війни, так і необхідності довгострокової сталої реконструкції. Виклики вийшли за рамки типового питання відновлення після війни, збереження міської спадщини та знакових елементів забудованого середовища, і почали охоплювати питання прийняття критично важливих рішень, ефективності відновлення та механізмів фінансування, що призводить до трудомістких процесів, яким бракує належного послідовного довгострокового управління. Повномасштабна війна в Україні завдала значних руйнувань житловим, громадським і промисловим об'єктам. Одним із головних викликів сьогодення є оперативне, якісне та ресурсоефективне відновлення зруйнованої інфраструктури та архітектурного фонду. У цьому процесі ключову роль відіграють сучасні підходи до проєктування, які спираються на використання цифрових і інноваційних технологій. Однак, планування та реалізація реконструкції виключно з точки зору термінової функціональності призводить до відходу від принципів нового урбанізму, створюючи таким чином «ландшафт роз'єднаності». Стаття є спробою систематизації світових та вітчизняних парадигм, практик та кейсів постконфліктної реконструкції зруйнованого архітектурного фонду на основі принципів нового урбанізму.*

Ключові слова: реконструкція, експлуатація, технологія, зруйноване житло через агресію Росії, BIM, 3D друк.

Лепська Л. А.
к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельних технологій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Дата першого надходження статті до видання: 03.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 691:620.1:502.131.1
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.8

Ляліна Н. П.
д.т.н., професор,
професор кафедри товарознавства та комерційної діяльності в будівництві,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0000-0002-9364-0925

Огороднік І. В.
к.т.н., доцент,
доцент кафедри товарознавства та комерційної діяльності в будівництві,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0000-0002-5990-8502

Бондаренко О. П.
к.т.н., доцент кафедри будівельних матеріалів,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0000-0002-8164-6473

ІННОВАЦІЙНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ КОНОПЕЛЬ: ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Анотація. *У статті досліджено перспективи застосування будівельних матеріалів на основі промислових конопель у контексті забезпечення сталого розвитку будівельної галузі. Обґрунтовано актуальність переходу до використання екологічних матеріалів з урахуванням зростаючого впливу будівництва на довкілля, зокрема через викиди парникових газів, виснаження ресурсів та утворення відходів. Особливу увагу приділено проблемі втіленого вуглецю та необхідності врахування екологічних, економічних і соціальних критеріїв на всіх етапах життєвого циклу будівельних матеріалів.*

У роботі проведено порівняльний аналіз технічних характеристик матеріалів на основі конопляної костри з традиційними будівельними матеріалами, зокрема екструдованим полістиролом, деревно-стружковими плитами, гіпсокартоном, МДФ та фанерою. Експериментальна частина включала випробування на стиск для теплоізоляційних матеріалів і на вигин для плит відповідно до чинних стандартів. Встановлено, що ізоляційні матеріали на основі конопель демонструють вищу міцність на стиск порівняно з екструдованим полістиролом, а плитні матеріали мають механічні характеристики, співставні з ДСП.

Результати дослідження підтверджують доцільність використання конопляної сировини для виготовлення теплоізоляційних та плитних матеріалів у будівництві. Встановлено, що за сукупністю технічних і екологічних показників вони можуть конкурувати з традиційними матеріалами та розглядатися як ефективний інструмент декарбонізації будівельної галузі. Перспективи подальших досліджень пов'язані з удосконаленням технологій виробництва, підвищенням однорідності композитів та масштабуванням їх промислового застосування.

Ключові слова: сталий розвиток, будівельні матеріали, промислові коноплі, костра, теплоізоляція, будівельні матеріали, втілений вуглець, енергоефективність.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток будівельної галузі супроводжується зростаючим навантаженням на довкілля, що проявляється у значних обсягах викидів парникових газів, інтенсивному використанні природних ресурсів та накопиченні будівельних відходів. Традиційні будівельні матеріали, зокрема полімерні теплоізоляційні вироби та деревно-похідні плити, хоча й забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики, водночас характеризуються високою енергоємністю виробництва, обмеженою можли-

вістю утилізації та негативним впливом на екологічну безпеку. У контексті глобальних кліматичних викликів і переходу до принципів сталого розвитку особливої актуальності набуває питання зниження вуглецевого сліду будівельної продукції, зокрема за рахунок використання альтернативних сировинних ресурсів.

Одним із перспективних напрямів є впровадження біобазованих матеріалів, зокрема на основі промислових конопель, які відзначаються здатністю до відновлення, акумулювання вуглецю та потенційною екологічною безпечністю. Проте, незважаючи на зростання наукового інтересу до таких матеріалів, їх широке впровадження стримується недостатньою вивченістю технічних характеристик, варіативністю властивостей залежно від технології виробництва, а також обмеженою кількістю комплексних порівняльних досліджень із традиційними аналогами.

Таким чином, існує науково-практична проблема, що полягає у необхідності об'єктивної оцінки технічних, експлуатаційних та екологічних показників будівельних матеріалів на основі конопель, а також визначення їх конкурентоспроможності на ринку будівельних матеріалів. Вирішення цієї проблеми сприятиме обґрунтуванню доцільності використання конопляної сировини у будівництві та формуванню наукових засад для розвитку інноваційних екологічно орієнтованих технологій у галузі.

Аналіз останніх досліджень. Будівельна галузь стоїть на передовій глобальних проблем сталого розвитку, роблячи значний внесок у викиди парникових газів, виснаження ресурсів та утворення відходів [1]. Як важливий фактор економічного зростання та розвитку суспільства, її вплив на навколишнє середовище залишається критичною проблемою, посилюючи кліматичну кризу та напружуючи екосистеми в усьому світі [2]. Оскільки країни рухаються до нульових викидів, втілений вуглець, викиди, що виникають під час видобутку, виробництва та використання будівельних матеріалів, стають дедалі важливішим пріоритетом [3]. Тим часом зростання населення та урбанізація продовжують стимулювати попит на будівельні матеріали, часто без належного врахування цілей сталого розвитку [4]. Вирішення цих проблем вимагає зміну підходів до вибору матеріалів протягом усього життєвого циклу, які враховують екологічні, економічні та соціальні критерії [5].

Серед запропонованих рішень, відновлювані біорозроблені будівельні матеріали стали перспективними альтернативами [6]. Промислові коноплі (*Cannabis sativa* L.) зокрема привертають все більшу увагу завдяки швидкому виробництву біомаси та потенціалу поглинання вуглецю [7]. Коноплі – це високоврожайна культура, що створює можливості для регіонального виробництва біомаси [8, 9]. Їх деревна серцевина, або костра, все частіше використовується у виробництві ізоляційних блоків та плит, з оціночною здатністю поглинати до 1,4 тонни CO_2 на тонну сухої біомаси [10, 11]. При включенні до будівельних матеріалів цей накопичений вуглець залишається поглиненим протягом тривалого часу.

Під час експлуатації матеріали на основі конопель показують сприятливі теплові характеристики. Експериментальні дослідження показали, що конопляно-вапняний бетон демонструє високу теплову інерцію та низьку теплову продуктивність, що дозволяє йому забезпечувати помірні коливання температури в приміщенні та покращувати комфорт мешканців [12]. Ці теплові властивості конопель можуть підвищити енергоефективність та зменшити пов'язане з цим споживання енергії та викиди парникових газів [13]. Для порівняння, широко поширені традиційні ізоляційні матеріали, такі як екструдований полістирол, забезпечують термостійкість, але пов'язані з кількома екологічними та здоров'язберігаючими проблемами. Через свою синтетичну та небіорозкладну природу, ці вироби значною мірою сприяють довгостроковому накопиченню на звалищах, причому відходи з цих матеріалів становлять значну частку від загального обсягу утилізації полістиролу. Окрім проблем з утилізацією, нещодавні дослідження викликали занепокоєння щодо потенційного впливу на здоров'я мікропластику пінополістиролу, який пов'язують з окислювальним стресом та запальними реакціями в тканинах легень [14]. Натомість, матеріали на основі конопель доводять переваги після закінчення терміну служби, оскільки їх можна переробляти або компостувати, зменшуючи обсяги відходів [15].

Враховуючи складну взаємодію між технічними, екологічними, економічними та соціальними аспектами будівельних матеріалів на основі конопель, цілісні оцінки є важ-

ливими для вирішення їх багатогранної ефективності. Зокрема, технічні властивості, такі як механічні, теплові та акустичні показники, були найбільш ретельно вивчені, оскільки вони безпосередньо впливають на їх функціональну придатність [16, 17].

Матеріали на основі конопель порівнювали з широко використовуваними, комерційно доступними альтернативами, включаючи екструдований полістирол, гіпсокартон, деревно-стружкові плити (ДСП), деревоволокнисту плиту середньої щільності (МДФ) та фанеру. Інтегруючи показники технічної ефективності, це дослідження мало на меті підтримати прийняття обґрунтованих рішень для розвитку будівельної галузі.

Мета роботи. Метою дослідження є комплексна оцінка технічних та експлуатаційних властивостей будівельних матеріалів на основі промислових конопель, зокрема теплоізоляційних композитів і плит, а також визначення їх конкурентоспроможності порівняно з традиційними матеріалами (екструдованим полістиролом, ДСП, МДФ, гіпсокартоном та фанерою). Дослідження спрямоване на обґрунтування доцільності використання конопляної сировини у будівництві з урахуванням механічних, теплофізичних та екологічних показників, а також на визначення потенціалу цих матеріалів як ефективного інструменту забезпечення сталого розвитку та декарбонізації будівельної галузі.

Матеріали та методи досліджень. У цьому дослідженні досліджувалися два різні композити на основі конопель: ізоляційний матеріал та плита. Обидва продукти були виготовлені з використанням технічних конопель, а саме костри, вирощеної у Житомирській області. Конопляна костра – це внутрішня серцевина стебла, хімічно схожа на деревину, що складається переважно з целюлози (36–41 %), а також лігніну та геміцелюлози [18]. Костру отримують за допомогою механічного процесу, відомого як декортикація, який відокремлює зовнішній волокнистий шар від внутрішньої деревної серцевини.

Для забезпечення репрезентативності порівняння матеріали на основі конопель були порівняні з широко використовуваними комерційними альтернативами. Екструдований полістирол був обраний як еталон для ізоляції, тоді як гіпсокартон, ДСП, МДФ та фанера використовувалися як еталони для плит. Ці традиційні матеріали були обрані через їх широку доступність на ринку та тому, що вони використовуються для тих самих цілей, що й вироби на основі конопель, і були придбані у найбільшого австралійського роздрібного продавця будівельних матеріалів та обладнання [19].

Технічна оцінка включала випробування на міцність на стиск ізоляційних матеріалів та випробування на міцність на вигин плит. У табл. 1 наведено матеріали, відповідні випробування, стандарти та розміри зразків. Значення товщини (t) є номінальними та відображають розміри, зазначені виробником.

Ізоляційні матеріали та плити були нарізані за розмірами, визначеними стандартом EN 826:2013. Під час підготовки зразків деякі залишки відокремилися від сполучного матеріалу в ізоляції на основі конопель, що свідчить про неповне зчеплення всере-

Таблиця 1. Досліджувані будівельні матеріали та проведені випробування

Матеріал	Номінальна товщина (t), мм	Основний тест	Стандарт	Розмір зразка, мм
Ізоляційні матеріали				
Композит на основі конопель	50	Міцність на стиск	EN 826:2013	100 × 100
Екструдована полістирольна плита	50			
Листові матеріали				
Дошка на основі конопель	16	Міцність на згин	ДСТУ EN 310	290 × 50
ДСП	16			
Гіпсокартон	16 мм		ДСТУ EN 520:2018	
МДФ	16 мм		EN 314-2	
Фанера	16 мм			

дині композиту. Це може свідчити про зміни в однорідності, що може вплинути на технічні характеристики матеріалу [20]. Для випробування було підготовлено по п'ять зразків з кожного матеріалу, для яких було визначено густину, ширину, довжину.

Для низькоміцних неструктурних матеріалів, таких як ізоляційні матеріали на основі конопель, міцність на стиск дає уявлення про цілісність матеріалу, зокрема з точки зору довговічності, обробки, транспортування та монтажу [21]. За відсутності спеціальних стандартів для оцінки поведінки композитів на основі конопель при стисканні використовувався стандарт EN 826. Цей стандарт застосовувався в попередніх дослідженнях матеріалів на основі конопель, що піддавалися короткочасним навантаженням, для оцінки міцності на стиск теплоізоляційних виробів [22].

П'ять зразків з номінальними розмірами $100 \times 100 \times t$ мм^3 були піддані осьовому стиску за допомогою універсальної випробувальної машини (вантажопідйомність 50 кН) за умов навколишнього середовища з температурою 23 ± 5 °C та відносною вологістю 50 ± 5 %. Випробування проводилися з постійною швидкістю зміщення 5 мм/хв (визначеною за t), доки не було досягнуто одного з наступних критеріїв: зразок піддавався пружності або майже не було досягнуто максимальної вантажопідйомності машини (49 ± 1 кН). Якщо зразок не піддавався пружності до досягнення 10 % відносної деформації, міцність на стиск реєструвалася при цьому порозі деформації. На рис. 1 зображено зразки на основі конопель до, під час та після випробувань.

Окрім міцності на стиск, в результаті цих випробувань на стиск також були отримані такі пов'язані параметри: модуль пружності та стискальне напруження при деформації.

Модуль пружності, також відомий як «модуль Юнга», є мірою жорсткості матеріалу, тобто його опору деформації при будь-якому заданому навантаженні. Для більшості застосувань зазвичай перевага надається вищому модулю пружності, оскільки це вказує на те, що компонент збереже свій початковий розмір і геометричні параметри під навантаженням.

Рис. 1. Міцність на стиск зразків ізоляційних матеріалів на основі конопель: (a) до випробувань, (b) під стиском та (c) після дії навантаження 49 ± 1 кН

Рис. 2. Міцність на згин зразків ізоляційних матеріалів на основі конопель:
(a) випробувальна установка, (b) після випробування

Робота при 10 % деформації – цей параметр є корисним показником «в'язкості» матеріалу та отримується шляхом інтегрування даних сили відносно переміщення до 10 % деформації. Вищі значення цього параметра зазвичай є кращими, оскільки вони вказують на те, що зразок здатний поглинати більшу кількість енергії, доки не буде досягнуто деформації 10 %.

Крім того, у багатьох будівельних та інженерних дослідженнях для матеріалів з однаковими механічними властивостями зазвичай перевагу надають вибору матеріалу з найнижчою густиною. Тому кілька показників випробувань на стиск були поділені за густиною матеріалу, щоб отримати «специфічні» властивості.

Міцність на згин є основною механічною властивістю, що оцінюється для плит. П'ять випробувальних зразків розміром $290 \times 50 \times t$ мм^3 піддавалися випробуванню на триточковий згин. Навантаження прикладалося з постійною швидкістю зміщення 10 мм/хв (рис. 2).

Результати досліджень. Результати середньої густини та міцності на стиск для ізоляційних матеріалів представлені в табл. 2, які свідчать, що ізоляційні матеріали на основі конопель демонстрували лінійну та пружну реакцію приблизно до 4 % деформації стиску, при цьому стискаюча напруга потім зростала повільніше до 10 % деформації стиску. Ця тенденція підтверджує, що ізоляційний матеріал на основі конопель залишався структурно цілісним в усьому діапазоні випробувань.

Композит на основі конопель продемонстрував міцність на стиск 1,597 МПа при 10 % деформації, що більше ніж утричі вище, ніж у екструдованого полістиролу, який досяг 0,459 МПа. Його модуль пружності (33,47 МПа) також вказують на значно жорсткішу та механічно стійкішу структуру, ніж у екструдованого полістиролу. Цей показник можна пояснити його більшою густиною (0,383 г/см^3) та узгоджується з попередніми висновками, які показують позитивну кореляцію між густиною та механічною міцністю в ізоляції на основі конопель [23, 24]. Однак слід зазначити, що значно нижча густина екструдованого полістиролу призвела до значно вищих питомих властивостей на стиск порівняно з матеріалом на основі конопель.

Попередні дослідження [25], показали аналогічні результати для ізоляційних матеріалів на основі конопель та виявили, що композити на основі конопляної сировини з густиною від 0,351 до 0,480 г/см^3 демонструють міцність на тиск від 1,424 до 1,913 МПа.

Хоча екструдований полістирол розроблений для легкої ізоляції (що підтверджується його вищими питомими властивостями), його механічна міцність обмежена, що робить його

Таблиця 2. Властивості ізоляційних матеріалів, пов'язані з густиною та міцністю на стиск

Матеріал		Густина ($г/см^3$)	Міцність на стиск при 10 % деформації (МПа)	Модуль пружності (МПа)	Міцність на стиск (питоме) ($МПа/г \cdot см^3$)	Модуль пружності (питомий) ($ГПа/г \cdot см^3$
На основі конопель	Середнє значення	0,383	1.597	33.47	4.159	86.679
	Стандартне значення	0,007	0,072	3.774	0,118	8.234
Екструдований полістирол	Середнє значення	0,027	0,459	11.903	16.794	434.964
	Стандартне значення	0,000	0,024	1.790	0,710	63.885

Таблиця 3. Показники густини та згинальних характеристик матеріалів на основі конопель та звичайних плит.

Матеріал		Густина ($г/см^3$)	Міцність на згин (МПа)	Деформація при міцності на згин	Модуль пружності (ГПа)	Міцність на згин (питома) ($МПа/г \times см^3$)	Модуль пружності (питомий) ($ГПа/г \times см^3$)
Дошка на основі конопель	Середнє значення	0,630	12.404	0,007	2.102	19.614	3.324
	Стандартне значення	0,012	0,778	0,000	0,124	0,913	0,140
ДСП	Середнє значення	0,639	12.471	0,008	1.865	19.505	2.917
	Стандартне значення	0,003	0,477	0,000	0,046	0,709	0,063
Гіпсокартон	Середнє значення	0,781	2.087	0,016	1.578	2.673	2.020
	Стандартне значення	0,002	0,086	0,001	0,045	0,115	0,060
МДФ	Середнє значення	0,742	30.486	0,013	2.877	41.071	3.876
	Стандартне значення	0,001	0,303	0,000	0,016	0,380	0,019
Фанера	Середнє значення	0,538	45.304	0,011	5.129	84.257	9.540
	Стандартне значення	0,002	1.480	0,001	0,031	2.752	0,085

менш придатним для застосувань, що потребують помірної структурної підтримки. Однак ця властивість робить його особливо придатним для застосувань, де низька вага є пріоритетом над структурними характеристиками, наприклад, для ізоляційних елементів, які не несуть значних навантажень. І навпаки, композит на основі конопель забезпечує вищу міцність на стиск, що робить його кращим для застосувань, що потребують помірної структурної підтримки, або де ізоляційні матеріали повинні витримувати стискальні навантаження.

У табл. 3 представлено порівняльний аналіз густини та міцності на вигин плити на основі

конопель та традиційних плитних матеріалів, включаючи ДСП, гіпсокартон, МДФ та фанеру. Плита на основі конопель продемонструвала середню густину 0,630 г/см^3 та міцність на вигин 12,404 МПа, що майже ідентично ДСП (12,471 МПа при 0,639 г/см^3). Це свідчить про те, що конопляна костра, у поєднанні з відповідною зв'язуючою речовиною та за умови належних умов пресування, може досягти механічних характеристик, порівнянних з традиційними деревно-стружковими плитами.

Питома міцність на вигин плити з конопель (19,614 МПа/г · см^3) та модуль пружності (3,324 ГПа/г · см^3) підтвердили її конкурентне співвідношення міцності до ваги. Проте, МДФ продемонстрував значно вищу міцність на вигин (30,486 МПа), що відображає його високу щільність та сильно стиснуту волокнисту структуру. Фанера перевершила всі протестовані матеріали, забезпечивши міцність 45,304 МПа при міцності всього 0,538 г/см^3 завдяки своїй шаруватій текстурі. Гіпсокартон, хоча й має найбільшу густину (0,781 г/см^3), показав найслабшу міцність на вигин (2,087 МПа), демонструючи, що сама по собі густина не визначає механічні характеристики матеріалу. Ці результати підтверджують, що хоча підвищена густина часто підвищує міцність завдяки покращеному ущільненню та склеюванню [26], інші фактори, такі як орієнтація волокон, міжфазне склеювання та ламінування, відіграють вирішальну роль, як показано на прикладі МДФ та фанери. Загалом, можна зробити висновок, що властивості згинання плити на основі конопель надзвичайно конкурентоспроможні з властивостями деревно-стружкових плит, які зараз використовуються в житловому будівництві.

Висновки. Технічно, обидва продукти на основі конопель продемонстрували можливість їх застосування у будівництві. Ізоляційні матеріали на основі конопель продемонстрували більш ніж утричі кращу міцність на стиск, ніж екструдований полістирол, що свідчить про покращену несучу здатність, тоді як плита відповідала характеристикам згинання ДСП і перевершувала гіпсокартон за співвідношенням міцності до ваги. Ці результати підтвердили можливість використання конопляної костри як життєздатної сировини для ненесучих застосувань у будівництві.

За всіма технічними характеристиками ізоляційний матеріал на основі конопель не набагато поступається екструдованому полістиролу, проте показує кращі результати за екологічними та економічними показниками. Аналогічно, плита на основі конопель перевершила гіпсокартон та фанеру і продемонструвала найкращі екологічні показники щодо глобального потепління, використання енергії, землекористування та органічного вуглецю ґрунту.

Загалом, ці дослідження підтвердили, що ізоляційні та плитні вироби на основі конопель можуть конкурувати з сучасними будівельними матеріалами завдяки своїй екологічності. Завдяки скоординованим зусиллям в галузі інновацій, політики та інтеграції ланцюга створення вартості, матеріали на основі конопель можуть перетворитися з перспективних альтернатив на основні рішення для сталого будівництва.

Література

1. Calle Müller C., Pradhananga P., ElZomor M. Pathways to decarbonization, circular construction, and sustainability in the built environment. Int. J. Sustain. High Educ. 2024. 25(6). DOI: 10.1108/IJSHE-09-2023-0400
2. Kemarau R. A., Sakawi Z., Eboy O. V., Suab S. A., Brahim M. F., Binti Rosli N. N., Nor F. M. Planetary boundaries transgressions: a review on the implications to public health Environ. Res. 2024, Article 119668. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119668
3. UNEP Building materials and the climate: constructing a new future. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43293. 2023
4. Amarasinghe I., Liu T., Stewart R. A., Mostafa S. Paving the way for lowering embodied carbon emissions in the building and construction sector. Clean Technol. Environ. Policy. 2024, pp. 1-19. DOI: 10.1007/s10098-024-03023-6
5. Soonsawad N., Martinez R. M., Schandl H. Material demand, and environmental and climate implications of Australia's building stock: current status and outlook to 2060. Resour. Conserv. Recycl., 180. 2022, Article 106143. DOI https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106143
6. Budhathoki R., Maraseni T., Apan A. Enviro-economic and feasibility analysis of industrial hemp value chain: a systematic literature review. GCB Bioenergy, 16 (6). 2024, Article 13141. DOI 10.1111/gcbb.13141
7. Le D.L., Salomone R., Nguyen Q.T. Circular bio-based building materials: a literature review of case studies and sustainability assessment methods. Build. Environ. 2023, Article 110774. DOI 10.1016/j.buildenv.2023.110774
8. Rivas-Aybar D., John M., Biswas W. Can the hemp industry improve the sustainability performance of the Australian construction sector? Buildings, 13 (6). 2023, p. 1504.DOI 10.3390/buildings13061504

9. Muttil N., Sadath S., Coughlan D., Paresi P., Singh S.K. Hemp as A sustainable carbon negative plant: a review of its properties, applications, challenges and future directions. International Journal of Integrated Engineering, 16 (2). 2024, pp. 1–12. https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie
10. Papadopoulou E., Chrysafi I., Karidi K., Mitani A., Bikiaris D.N. Particleboards with recycled material from hemp-based panels Materials, 17 (1). 2023, p. 139. DOI 10.3390/ma17010139
11. Rivas-Aybar D., John M., Biswas W. Environmental Life Cycle Assessment of A Novel Hemp-based Building Material. Materials 16(22):7208. 2023. DOI10.3390/ma16227208
12. Essaghouri L., Mao R., Li X. Environmental benefits of using hempcrete walls in residential construction: an LCA-based comparative case study in Morocco. Environ. Impact Assess. Rev., 100. 2023, Article 107085. DOI10.1016/j.eiar.2023.107085
13. Proaño C., Rivas Aybar D. Rehabilitación De Suelos Contaminados Por Derrame De Hidrocarburos Mediante Biorremediación Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. 2010
14. Muhit I. B., Omairey E.L., Pashakolaie V.G. A holistic sustainability overview of hemp as building and highway construction materials. Build. Environ. 2024, Article 111470. DOI 10.1016/j.buildenv.2024.111470
15. Kytinou V. K., Metaxa Z. S., Zapris A. G., Kosheleva R. I., Prokopiou V. D., Alexopoulos N. D. Exploitation of extruded polystyrene (XPS) waste for lightweight, thermal insulation and rehabilitation building applications. Developments in the Built Environment, 20. 2024, Article 100580. DOI10.1016/j.dibe.2024.100580
16. Troya M.D.C., Power O.-P., Kopke K. Is it all about the data? How extruded polystyrene escaped single-use plastic directive market restrictions. Front. Mar. Sci., 8. 2022, Article 817707.DOI 10.3389/fmars.2021.817707
17. Yadav M., Saini A. Opportunities & challenges of hempcrete as a building material for construction: an overview. Mater. Today Proc., 65. 2022, pp. 2021–2028.DOI 10.1016/j.matpr.2022.05.576
18. Arehart J. H., Nelson W. S., Srubar I. I. I. W. V. On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete. J. Clean. Prod., 266. 2020, Article 121846.DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121846
19. Bošković I., Radivojević A. Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime concrete wall constructions in Serbia: the impact of carbon sequestration, transport, waste production and end of life biogenic carbon emission. J. Build. Eng., 66. 2023, Article 105908. DOI10.1016/j.jobe.2023.105908
20. John M. The Routledge Handbook of Global Sustainability Education and Thinking for the 21st Century. Taylor & Francis. 2025. https://doi.org/10.4324/9781003171577
21. Mark T. B., Will S. Economic issues and perspectives for industrial hemp. Industrial Hemp as a Modern Commodity Crop. 2019, pp. 107–118. https://doi.org/10.2134/industrialhemp
22. Donoghoe G. Market opportunity analysis: what market factors influence and determine hemp-lime composites becoming a mainstream building product? Electron. J. Struct. Eng., 24.2024, pp. 1-6. https://doi.org/10.56748/ejse.24528
23. Capua S. E. Di., Paolotti L., Moretti E., Rocchi L., Boggia A. Evaluation of the environmental sustainability of hemp as a building material, through life cycle assessment. Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti, 25(1). 2021, pp. 1215–1228. DOI10.2478/rtuect-2021-0092
24. Ansari H., Tabish M., Zaheer M. M. A comprehensive review on the properties of hemp incorporated concrete: an approach to low carbon footprint construction. Sustainability, 5, 2025, Article 100075. DOI10.1016/j.nxsust.2024.100075
25. Asghari N., Memari A. M. State of the art review of attributes and mechanical properties of hempcrete. Biomass, 4(1). 2024, pp. 65–91. https://doi.org/10.3390/biomass4010004
26. Colli C., Bataille A., Antczak E. Investigating eco-efficiency procedure to compare refurbishment scenarios with different insulating materials. Proced. CIRP, 90, 2020, pp. 322-327.DOI 10.1016/j.procir.2020.02.002

References

1. Calle Müller, C., Pradhananga, P., ElZomor, M. (2024). Pathways to decarbonization, circular construction, and sustainability in the built environment. Int. J. Sustain. High Educ. 25(6). DOI: 10.1108/IJSHE-09-2023-0400
2. Kemarau, R. A., Sakawi, Z., Eboy, O. V., Suab, S. A., Brahim, M. F., Binti Rosli, N. N., Nor, F. M. (2024). Planetary boundaries transgressions: a review on the implications to public health Environ. Res. 2024, Article 119668. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119668
3. UNEP Building materials and the climate: constructing a new future. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43293. 2023
4. Amarasinghe, T., Liu, I., Stewart, R.A., Mostafa, S. (2024). Paving the way for lowering embodied carbon emissions in the building and construction sector. Clean Technol. Environ. Policy. pp. 1-19.DOI 10.1007/s10098-024-03023-6
5. Soonsawad, N., Martinez, R. M., Schandl, H. (2022). Material demand, and environmental and climate implications of Australia's building stock: current status and outlook to 2060. Resour. Conserv. Recycl., 180. Article 106143. DOI https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106143
6. Budhathoki, R., Maraseni, T., Apan, A. (2024). Enviro-economic and feasibility analysis of industrial hemp value chain: a systematic literature review. GCB Bioenergy, 16 (6). Article 13141. DOI 10.1111/gcbb.13141
7. Le, D. L., Salomone, R., Nguyen, Q. T. (2023). Circular bio-based building materials: a literature review of case studies and sustainability assessment methods. Build. Environ. Article 110774. DOI 10.1016/j.buildenv.2023.110774
8. Rivas-Aybar, D., John, M., Biswas,. W. (2023). Can the hemp industry improve the sustainability performance of the Australian construction sector? Buildings, 13 (6). p. 1504. DOI 10.3390/buildings13061504
9. Muttil, N., Sadath, S., Coughlan, D., Paresi, P., Singh, S.K. (2024). Hemp as A sustainable carbon negative plant: a review of its properties, applications, challenges and future directions. International Journal of Integrated Engineering, 16 (2). pp. 1–12. https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie
10. Papadopoulou, E., Chrysafi, I., Karidi, K., Mitani, A., Bikiaris, D.N. (2023). Particleboards with recycled material from hemp-based panels Materials, 17 (1). p. 139. DOI 10.3390/ma17010139

11. Rivas-Aybar, D., John, M., Biswas, W. (2023). Environmental Life Cycle Assessment of A Novel Hemp-based Building Material. DOI10.3390/ma16227208
12. Essaghouri, L., Mao, R., Li, X. (2023). Environmental benefits of using hempcrete walls in residential construction: an LCA-based comparative case study in Morocco. Environ. Impact Assess. Rev., 100. Article 107085. DOI10.1016/j.eiar.2023.107085
13. Proaño, C., Rivas Aybar, D. (2010). Rehabilitación De Suelos Contaminados Por Derrame De Hidrocarburos Mediante Biorremediación Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana.
14. Muhit, I. B., Omairey, E. L., Pashakolaie, V. G. (2024). A holistic sustainability overview of hemp as building and highway construction materials. Build. Environ. Article 111470. DOI 10.1016/j.buildenv.2024.111470
15. Kytinou, V. K., Metaxa, Z. S., Zapris, A. G., Kosheleva, R. I., Prokopiou, V. D., Alexopoulos, N. D. (2024). Exploitation of extruded polystyrene (XPS) waste for lightweight, thermal insulation and rehabilitation building applications. Developments in the Built Environment, 20. Article 100580. DOI10.1016/j.dibe.2024.100580
16. Troya, M. D.C., Power, O.-P., Kopke, K. (2022). Is it all about the data? How extruded polystyrene escaped single-use plastic directive market restrictions. Front. Mar. Sci., 8. Article 817707. DOI 10.3389/fmars.2021.817707
17. Yadav, M., Saini, A. (2022). Opportunities & challenges of hempcrete as a building material for construction: an overview. Mater. Today Proc., 65. pp. 2021-2028. DOI 10.1016/j.matpr.2022.05.576
18. Arehart, J. H., Nelson, W. S., Srubar, I. I. I. W. V. (2020). On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete. J. Clean. Prod., 266. Article 121846. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121846
19. Bošković, I., Radivojević, A. (2023). Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime concrete wall constructions in Serbia: the impact of carbon sequestration, transport, waste production and end of life biogenic carbon emission. J. Build. Eng., 66. Article 105908. DOI10.1016/j.jobe.2023.105908
20. John, M. (2025). The Routledge Handbook of Global Sustainability Education and Thinking for the 21st Century. Taylor & Francis. https://doi.org/10.4324/9781003171577
21. Mark, T. B., Will, S. (2019). Economic issues and perspectives for industrial hemp. Industrial Hemp as a Modern Commodity Crop. pp. 107-118. https://doi.org/10.2134/industrialhemp
22. Donoghoe, G. (2024). Market opportunity analysis: what market factors influence and determine hemp-lime composites becoming a mainstream building product? Electron. J. Struct. Eng., 24. pp. 1–6. https://doi.org/10.56748/ejse.24528
23. Capua, S. E. Di., Paolotti, L., Moretti, E., Rocchi, L., Boggia, A. (2021). Evaluation of the environmental sustainability of hemp as a building material, through life cycle assessment. Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti, 25(1). pp. 1215–1228. DOI10.2478/rtuect-2021-0092
24. Ansari, H., Tabish, M., Zaheer, M. M. (2025). A comprehensive review on the properties of hemp incorporated concrete: an approach to low carbon footprint construction. Sustainability, 5. Article 100075. DOI10.1016/j.nxsust.2024.100075
25. Asghari, N., Memari, A. M. (2024). State of the art review of attributes and mechanical properties of hempcrete. Biomass, 4(1). pp. 65–91. https://doi.org/10.3390/biomass4010004
26. Colli, C., Bataille, A., Antczak, E. (2020). Investigating eco-efficiency procedure to compare refurbishment scenarios with different insulating materials. Proced. CIRP, 90. pp. 322-327. DOI 10.1016/j.procir.2020.02.002

INNOVATIVE HEMP-BASED BUILDING MATERIALS: TECHNICAL PROPERTIES AND ECOLOGICAL POTENTIAL

Abstract. *The article explores the prospects for the use of building materials based on industrial hemp in the context of ensuring sustainable development of the construction industry. The relevance of the transition to the use of ecological materials is substantiated, taking into account the growing impact of construction on the environment, in particular through greenhouse gas emissions, resource depletion and waste generation. Particular attention is paid to the problem of embodied carbon and the need to take into account environmental, economic and social criteria at all stages of the life cycle of building materials.*

The paper provides a comparative analysis of the technical characteristics of materials based on hemp firewood with traditional building materials, in particular extruded polystyrene, chipboard, plasterboard, MDF and plywood. The experimental part included compression tests for thermal insulation materials and bending tests for boards in accordance with current standards. It was found that hemp-based insulation materials demonstrate higher compressive strength compared to extruded polystyrene, and board materials have mechanical characteristics comparable to chipboard.

The results of the study confirm the feasibility of using hemp raw materials for the production of thermal insulation and board materials in construction. It was found that in terms of technical and environmental indicators, they can compete with traditional materials and be considered as an effective tool for decarbonization of the construction industry. Prospects for further research are related to improving production technologies, increasing the homogeneity of composites and scaling up their industrial application.

Key words: sustainable development, building materials, industrial hemp, bonfire, thermal insulation, building materials, embodied carbon, energy efficiency.

N. P. Lialina
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Commodity Studies and Commercial Activities in Construction,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

I. V. Ogorodnik
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Commodity Studies and Commercial Activities in Construction,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

O. P. Bondarenko
Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Building Materials,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Дата першого надходження статті до видання: 25.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 338.45:691:658.8.
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.9

Максимов А. С.
к.т.н., ст. науковий співробітник,
ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В. С. Балицького», м. Київ
ORCID: 0000-0001-7029-5690

Покровська Н. М.
к.е.н., ст. викладач кафедри економіки підприємництва,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
ORCID: 0000-0002-0699-0362

АСОРТИМЕНТНА ПОЛІТИКА ВИРОБНИЦТВА БЕТОНУ В УМОВАХ СУЧАСНОГО РИНКУ: СТРАТЕГІЧНІ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА МАРКЕТИНГОВІ АСПЕКТИ

Анотація. *У статті досліджуються ключові аспекти асортиментної політики виробників бетону в Україні, акцент робиться на практичних підходах до формування асортименту в умовах ринкового спаду, що розпочався після повномасштабного вторгнення Росії. Проаналізовано виробничі, технологічні, маркетингові, управлінські, економічні та споживчі чинники формування асортименту, що визначають ефективність та прибутковість підприємств. У сучасних умовах будівельного ринку ключовими чинниками конкурентоспроможності є дотримання нормативних вимог, гнучкість виробництва та впровадження інноваційних рішень і систем контролю якості. Особлива увага приділяється визначенню оптимальної структури товарного портфеля, включаючи товарний бетон, будівельні розчини, залізобетонні вироби та спеціальні суміші. Асортиментна політика підприємства має бути динамічною, орієнтованою на різні сегменти споживачів, із урахуванням логістики, стабільності постачання та постійної оптимізації продукції відповідно до ринкових і регіональних умов. Висвітлено роль якості сировини, використання хімічних добавок, контроль рецептури та лабораторний контроль як ключових технологічних інструментів забезпечення надійності продукції. Ефективність діяльності забезпечується балансом між рентабельністю, контролем витрат і задоволенням потреб споживачів, де важливу роль відіграють якість продукції, репутація та індивідуалізація рішень. Маркетинговий та управлінський аспекти асортиментної політики підкреслюють необхідність адаптації пропозиції до потреб різних сегментів ринку, сезонних коливань та змін у попиті. Економічна ефективність і споживча орієнтація асортиментної політики забезпечують максимальний комерційний результат та стійкість підприємств у складних кризових умовах ринку. Розглядається різні аспекти оптимізації асортиментного портфеля виробників бетону, з метою підвищення їх конкурентоспроможності та вдосконалення в цілому стратегічного планування в галузі будівельних матеріалів.*

Ключові слова: асортиментна політика, будівельний ринок, конкурентоспроможність, економічна стабільність, цінова диференціація, сегментація споживачів, оптимізація портфеля.

Постановка проблеми. У сучасних реаліях функціонування української економіки, що перебуває під тиском воєнних дій, підприємства стикаються з високим рівнем невизначеності, скороченням попиту та суттєвими коливаннями ринкового середовища. Особливо відчутні ці виклики проявляються у галузі виробництва бетону, яка зазнала падіння на 45 % порівняно з довоєнними роками та в цілому зниження інвестиційної активності та суттєвим зростання собівартості продукції. За таких умов класичні підходи до управління

підприємствами втрачають ефективність, що зумовлює необхідність пошуку нових нестандартних економічних підходів, спрямованих на підтримання конкурентоспроможності у будівництві.

У контексті низького попиту та жорсткої конкуренції особливого значення набуває формування ефективної асортиментної політики, яка дозволяє адаптувати виробництво бетону до нових потреб ринку, зменшити витрати та забезпечити стабільність діяльності підприємств. Водночас відсутність єдиного підходу до трактування сутності асортиментної політики в економічно-науковому просторі та чіткого визначення її в системі управління підприємством ускладнює процес прийняття управлінських рішень. Це зумовлює необхідність поглибленого дослідження теоретичних засад та практичних аспектів формування асортиментної політики підприємств бетонної галузі в умовах кризових явищ та воєнної економіки.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні українська економіка та зокрема галузь виробництва бетону опинилися в епіцентрі безпрецедентної невизначеності. Воєнні дії унеможливлюють економічні прогнози, перетворивши звичайне стратегічне планування на щоденну боротьбу з невідомими аспектами. У сучасних умовах складної конкуренції та подвійних вимог до якості будівельних матеріалів, ефективне управління товарним портфелем бетонного виробництва набуває стратегічного значення. Сучасний ринок бетонної продукції характеризується високим рівнем стандартизації, водночас показує зростаючу диференціацію за функціональними, екологічними та технічними параметрами. У цьому контексті асортиментна політика виробництва виступає важливим важелем у забезпеченні конкурентоспроможності бетонних підприємств, оскільки дозволяє швидко реагувати на мінливі потреби споживачів, узгоджуючи при цьому і виробничі можливості з тенденціями ринку.

Асортиментна політика у науковій літературі розглядається як система принципів і методів управління номенклатурою продукції, спрямована на узгодженість відповідності міжресурсної бази виробників та потребами ринку. Європейські підходи до дослідження сутності асортиментної політики акцентують увагу на інтеграції технологічних та стратегічних рішень, а також принципів маркетингу до процесу формування продуктового портфеля. Зокрема, значна увага приділяється впровадженню екологічно сталих рішень на яких базуються інновації технологій виробництва бетону, а також адаптації продукції до унікальності локальних ринків і регуляторних вимог кожного члену євроспільноти. У новітніх дослідженнях підкреслюється, що асортиментна політика повинна бути гнучкою, орієнтованою на споживача та враховувати аналіз життєвого циклу продукції.

З позиції орієнтації на покупця асортиментна політика розглядається як інструмент задоволення першочергово попиту та формування унікальних конкурентних переваг. Так, Е. Дихтль та Х. Хершген підкреслюють, що ефективний асортимент має створювати цінність для споживача, забезпечуючи суттєві переваги порівняно з іншими виробниками [7, ст. 124]. Це особливо актуально для виробників бетону, де асортимент представлено певними характеристиками (марки, класи міцності, спеціальні суміші) безпосередньо впливає на здатність враховувати потреби будівельних компаній та великих інфраструктурних проєктів. Особливого значення асортиментна політика набуває в умовах орієнтації на досягнення стратегічних і тактичних цілей підприємства. На цьому аспекті зосереджений Філіп Котлер, що визначає асортиментну політику, як діяльність спрямовану на формування та підтримку оптимальної структури товарів з урахуванням майбутніх цілей розвитку [1, ст. 94]. У свою чергу, інші автори акцентують увагу на її ролі у забезпеченні економічної ефективності та конкурентоспроможності підприємства через раціональний підбір асортиментних позицій та груп.

Українські економісти-науковці, такі як. Кириченко С. О, Касич А. О., Марченко К. О. теж підкреслюють, що асортиментна політика повинна забезпечувати формування оптимального набору товарів з урахуванням вимог ринку і внутрішніх ресурсів підприємства [2, 4].

З управлінської точки зору асортиментна політика трактується як цілеспрямований процес прийняття рішень щодо складу продукції, її швидкої адаптації до змін ринкового середовища. Такі дослідники, як Б. Берман та Дж. Еванс, розглядають її як систему принципів, що враховують ризики, попит, сезонність, партнерські можливості та кон'юнктуру ринку [6, ст. 74]. В такому контексті асортиментна політика є способом забезпечення ста-

більності та упорядкованості господарської діяльності підприємства.

Мета роботи. Обґрунтування теоретико-методичних засад формування асортиментної політики підприємств бетонної галузі з урахуванням стратегічних, технологічних та маркетингових аспектів її реалізації. У статті передбачається дослідити сучасні підходи до управління асортиментом, визначити ключові фактори його оптимізації, а також окреслити напрями підвищення ефективності товарної політики підприємств у контексті сучасного ринку.

Результати досліджень. Проаналізувавши наукові підходи до трактування сутності асортиментної політики встановлено, що в економічній літературі відсутнє однозначне узагальнене визначення даної категорії, що зумовлено багатогранністю її сутності та функціонального призначення. Розглядаючи позиції вітчизняних і зарубіжних економістів-науковців ми систематизували існуючі підходи та виділили чотири ключові напрями: маркетинговий, який зосереджений на формуванні оптимального портфеля товарів відповідно до ринкових умов; управлінський, що розглядає асортиментну політику як систему методів, принципів і управлінських рішень; цільовий/результативний, що особливо виділяє досягнення економічної ефективності та стратегічних цілей підприємства; а також споживчо-орієнтований, що передбачає повне задоволення потреб споживачів та швидку адаптацію до змін попиту. Зазначені підходи узагальнено та систематизовано (рис. 1), що дозволяє наочно відобразити сутність асортиментної політики як багатовимірної економічної категорії.

До початку повномасштабного вторгнення ринок бетону в Україні демонстрував позитивну динаміку. Так у 2021 році обсяги виробництва бетону зросли більш ніж на 20 % після спаду, що спричинила пандемія COVID-19. Проте у 2022 року ми спостерігаємо зовсім іншу ситуацію, виробництво різко скоротилося на 76 % (з 25,8 млн. тонн до 6,1 млн. тонн), що звичайно було зумовлено різким падінням попиту на через зупинку будівельних робіт. Найбільше постраждало житлове будівництво, тоді як через необхідність побудови укріплень, ринок утримали інфраструктурні та окремі комерційні проєкти. У 2023 році вже спостерігається поступове відновлення обсягу виробництва бетону і ринок бетону зріс до приблизно 7,3 млн. тонн, однак це все ще менше третини довоєнного рівня. Схожу динаміку демонстрував і ринок цементу, за даними асоціації виробників цементу України «Укрцемент», споживання скоротилося на 56 % у 2022 році, але вже у 2023 році почало

Рис. 1. Теоретико-прикладні підходи до формування асортименту виробників бетону

Джерело: сформовано авторами

зростати на 17 %. Ключовими викликами, на думку експертів, залишаються низький рівень інвестицій, зростання собівартості (понад 50 % у 2022–2023 роках) та не великий попит [4]. При такому становищі ефективна асортиментна політика для виробників бетону стає критично важливою, оскільки наочно показує, як потрібно адаптувати продукцію до потреб ринку, скорегувати витрати та забезпечити конкурентоспроможність навіть у кризовий період.

Запропонована систематизація підходів до сутності асортиментної політики дає змогу поглибити формування її з урахуванням галузевої специфіки виробництва бетону. На відміну від загальних теоретико-економічних підходів, орієнтованих переважно на універсальні принципи управління товарним портфелем, зазначені нами аспекти дають змогу сфокусувати увагу на унікальних характеристиках, що притаманні саме будівельним товарам. Це має більш прикладний характер нашого дослідження та дозволяє врахувати передусім саме технологічну характеристику бетонної продукції, а потім вже економічну складову. Виробничо-технологічний аспект акцентує увагу на можливості формування раціонального асортименту бетонних сумішей із урахуванням оптимального поєднання стандартних і спеціалізованих продуктів, якості сировини та стабільності рецептур. Це важливо, тому що умови сучасного будівельного ринку ключовим ставлять дотримання нормативних вимог, та забезпечення гнучкості виробництва, що дозволяє швидко адаптувати продукцію до військової специфіки окремих проєктів. Важливу роль у цьому процесі відіграє впровадження інноваційних добавок і систем контролю якості, що формують конкурентні переваги підприємства.

Ринково-управлінський аспект дозволить розглянути асортиментну політику як динамічну систему, орієнтовану на потреби різних сегментів споживачів і як наслідок, ефективне управління асортиментом. Врахування сервісних складових (логістика, безперебійність постачання) є визначальним фактором конкурентоспроможності. Одночасно важливим є постійний аналіз ефективності асортименту, своєчасна оптимізація номенклатури продукції та адаптація її до регіональних природніх умов і в цілому до кризових коливань будівельного ринку.

Економіко-споживчий аспект узагальнює орієнтацію підприємства на досягнення саме комерційної ефективності та максимальне задоволення потреб споживачів бетонну. Фінансову стійкість підприємства забезпечують баланс між обсягами реалізації та маржинальністю продукції, контроль собівартості та диференціація цінової політики. Водночас, у бетонній галузі особливого значення набуває репутація продукції серед споживачів, яка формується завдяки стабільній якісності продукції, відповідності будівельним нормам і можливості індивідуалізації рішень під конкретні об'єкти та тісній співпраці ще на початку будівництва, через архітекторів. Саме поєднання економічної доцільності та споживчої орієнтації визначає доцільність асортиментної політики підприємств у цій сфері.

З виробничої точки зору асортимент бетонної продукції охоплює кілька основних категорій. До них належать товарний бетон (Ready-mix concrete), класифікований за марками (М50–М1000) і класами міцності (В7.5–В60), будівельні цементні розчини для мурування та стяжки, залізобетонні вироби (ЗБВ), а також спеціальні суміші з підвищеною морозостійкістю, водонепроникністю або жаростійкістю. Для виробників бетонної продукції важливо формувати асортимент, який охоплює як популярні ходові марки (наприклад, М250/В20), так і унікальні спеціалізовані рішення для незвичайних проєктів. Такий підхід дає змогу врахувати різні сегменти споживчого попиту та збільшити комерційний потенціал підприємства.

Технологічний аспект асортиментної політики дуже важливий і полягає у забезпеченні стабільної відповідної якості продукції. Використання складових бетону, таких як цементу, щебеню та піску високої якості і в правильних пропорціях стає визначальним фактором міцності та довговічності продукції. Застосування різних хімічних добавок, таких як пластифікатори, протиморозні або прискорювачі твердіння, дає змогу адаптувати продукцію до різних умов експлуатації і в різні сезони, що особливо чутливо у зимовий період. Наявність власної лабораторії контролю якості є додатковою конкурентною перевагою, оскільки гарантує дотримання технічних стандартів та нормативів. Також це впливає на імідж підприємства, бо показує його серйозне ставлення до репутації і турботу про свій товар.

Маркетинговий аспект асортиментної політики визначає широту та глибину про-

позиції на ринку. Виробники бетону повинні пропонувати різні марки, орієнтовані на специфіку будівельних проєктів, що включають будування від простих фундаментів приватних будинків до каркасів багатоповерхових будівель. Цінова політика також формується з урахуванням асортименту для клієнтів різної платоспроможності: бюджетні марки для малих замовлень і високоміцні промислові розчини для великих проєктів. Позиціонування продукції також повинно включати швидкість доставки, наявність сертифікації та лабораторного контролю, що підвищує рівень довіри клієнтів і про це слід зазначати у промоакціях.

Управлінський аспект передбачає системне вистежування тенденцій ринку, керування асортиментом та його постійне корегування. Важливо регулярно слідкувати за нормативами і аналізувати попит, визначати прибуткові та непопулярні позиції чи ті що вже не відповідають діючим нормам, оптимізувати виробничий портфель та враховувати сезонні коливання. Саме гнучкість асортименту дозволяє швидко реагувати на коливання ринкової кон'юнктури, наприклад, скорочувати виробництво низькопопулярних марок під час кризи або переорієнтовуватися на державні замовлення.

Економічний аспект асортиментної політики визначається забезпеченням прибутковості підприємства з виготовлення бетонну. Для цього необхідно контролювати собівартість із урахуванням вартості сировини, енергоносіїв та логістики, а також диференціювати ціни відповідно до сегментів ринку. Таке слідкування дозволяє максимізувати комерційний ефект, саме через своєчасні виявлення зростання собівартості можна забезпечити фінансову стабільність підприємства навіть у складних економічних умовах.

Нарешті, споживчий аспект асортиментної політики передбачає орієнтацію на задоволення конкретних потреб клієнтів. Асортимент має відповідати певним будівельним стандартам і технічним унікальним вимогам проєктів, забезпечувати надійність конструкцій і, за потреби, пропонувати індивідуалізовані рішення, через застосування інноваційних добавок. Для споживачів бетон не просто матеріал, а гарантія незмінної міцності, яка витримує випробування часом, бо будівлі використовують протягом дуже довгого періоду.

Таблиця 1. Аспекти асортиментної політики бетонної продукції

Аспект	Ключові підходи	Практичне застосування для виробників бетону
Виробничий	Вибір оптимального портфеля продукції; баланс стандартних і спеціальних марок; комплексність асортименту	Включення ходових марок (М200–М350), спеціальних сумішей (морозостійкі, водонепроникні), ЗБВ, будівельні розчини; покриття потреб різних сегментів ринку
Технологічний	Контроль якості сировини; рецептури; використання добавок; лабораторний контроль	Стабільна якість бетону; використання пластифікаторів, протиморозних добавок; адаптація до сезонних умов; гарантія міцності та довговічності продукції
Маркетинговий	Широта та глибина асортименту; сегментація клієнтів; позиціонування	Пропозиція різних марок і характеристик; диференційована цінова політика; швидка доставка та сертифікація продукції
Управлінський	Аналіз попиту; оптимізація портфеля; сезонне планування; гнучкість	Виявлення ходових і непопулярних марок; скорочення нерентабельних позицій; переорієнтація на держзамовлення та інфраструктурні проєкти
Економічний	Баланс обсягів і маржинальності; контроль собівартості; цінова диференціація	Забезпечення прибутковості; контроль витрат на енергоносії, логістику та сировину; диференціація цін між бюджетними та преміум-марками
Споживчий	Орієнтація на потреби клієнтів; індивідуалізація; надійність продукції	Відповідність ДБН та технічним вимогам; адаптація під конкретні проєкти; гарантія безпеки і довговічності конструкцій

Джерело: сформовано авторами

Таким чином, асортиментна політика виробника бетону є комплексним механізмом, що поєднує маркетингові, виробничі, технологічні, управлінські, економічні та споживчі аспекти. Узагальнені результати проведеного аналізу та систематизація визначених підходів щодо аспектів асортиментної політики представлено у таблиці 1, що показує наочно їх змістовне наповнення та практичне значення.

Отже, розробка асортиментної політики для виробництва бетону є стратегічним інструментом, що дозволяє поєднати запити ринку з технічними потужностями підприємства для досягнення максимального прибутку. Ключовими засадами цього процесу є орієнтація на споживчий попит багатьох сегментів будівельного ринку, забезпечення відповідності продукції чинним нормативним вимогам і стандартам якості, а також підтримання високого рівня технологічної гнучкості виробництва. Важливу роль відіграє стабільність сировинної бази, що визначає можливості формування асортименту, поряд із оптимізацією витрат і собівартості продукції. Водночас диверсифікація бетонних сумішей за технічними характеристиками та функціональним призначенням створює передумови для підвищення конкурентоспроможності підприємства, розширення ринкових позицій і забезпечення стабільного прибутку в умовах сучасного ринку.

Висновки. Дослідження показало, що асортиментна політика є комплексним механізмом, який поєднує виробничі, технологічні, маркетингові та управлінські аспекти. У сучасних турбулентних реаліях будівельного ринку, що зазнали суттєвого спаду після початку війни, саме відповідне формування асортименту продукції дозволяє підприємствам залишатися конкурентоспроможними та підтримувати належну економічну стабільність. Практичне значення дослідження полягає у виокремленні ключових підходів, які допомагають виробникам визначити оптимальний асортиментний портфель продукції. Це включає підбір популярних марок бетону, спеціалізованих сумішей, контроль за дотриманням якості сировини та рецептури, адаптацію до потреб різноманітних сегментів споживачів. Результати дослідження демонструють важливість інтеграції маркетингових та економічних чинників у процес розроблення асортименту. Виробники, які орієнтуються на потреби клієнтів, застосовують диференційовану цінову політику та забезпечують якість продукції, зберігають свої ринкові позиції та мають можливість розвивати бізнес під час кризи. Подальша деталізація асортиментної політики з використанням цифрових моделей та аналітичних методів відкриває значний простір для подальших досліджень у цьому напрямі.

Література

1. Котлер Ф., Келлер К. Л. Маркетинговий менеджмент / Ф. Котлер, К. Л. Келлер; [пер. з англ. С. Ю. Кравченко]. К. : Хімджест, 2019. 816 с.
2. Крамарчук, С., & Крисько, Ж. (2022). Аспекти управління асортиментною політикою підприємства на сучасному етапі. *Цифрова економіка та економічна безпека*, (2 (02), 191–195. https://doi.org/10.32782/dees.2-32
3. Красовська Т. В. Методичні засади формування механізму товарного асортименту на виробничих підприємствах. *Економіка та держава*. 2016. № 2. С. 67–71. URL http://www.economy.in.ua/index.php?op=1&z=730&i=17
4. Кириченко С. О., Половинка К. І. Принципи формування асортиментної політики. *Агросвіт*. 2021. № 1–2. С. 90–94 DOI: 10.32702/2306-6792.2021.1-2.90
5. Покровська Н., Журке А. Перспективи розвитку бетонного виробництва в контексті відбудови України. *Економіка та суспільство*. 2025. № 73. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-73-2
6. Berman, B., & Evans, J. R. (2007). Retail Management: A Strategic Approach (10th ed.). Pearson/Prentice Hall.
7. Dichtl, E., Horschgen, H. (1988). Practical Marketing [Praktisches Marketing]. Gabler Verlag. 255 p.

References

1. Kotler, F., & Keller, K. L. (2019). *Marketynhovyi menedzhment* [Marketing Management] (S. Yu. Kravchenko, Trans.). Kyiv : Khimdzhest. [in Ukrainian].
2. Kramarchuk, S., & Krysko, Zh. (2022). Aspekty upravlinnia asortymentnoiu politykoiu pidpryiemstva na suchasnomu etapi [Aspects of assortment policy management of the enterprise at the present stage]. *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka – Digital economy and economic security*, 2(02), 191–195. https://doi.org/10.32782/dees.2-32 [in Ukrainian].
3. Krasovska, T. V. (2016). Metodychni zasady formuvannia mekhanizmu tovarnoho asortymentu na vyrobnychykh pidpryiemstvakh [Methodological principles of forming the product assortment mechanism at manufacturing enterprises]. *Ekonomika ta derzhava – Economy and state*, 2, 67–71. Retrieved from http://www.economy.in.ua/index.php?op=1&z=730&i=17 [in Ukrainian].
4. Kyrychenko, S. O., & Polovynka, K. I. (2021). Pryntsypy formuvannia asortymentnoi polityky [Principles of forming

assortment policy]. *Ahrosvit – Agroworld*, 1–2, 90–94. https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.1-2.90 [in Ukrainian].
5. Pokrovska, N., & Zhurke, A. (2025). Perspektyvy rozvytku betonnoho vyrobnytstva v konteksti vidbudovy Ukrainy [Prospects for the development of concrete production in the context of Ukraine's reconstruction]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society*, 73. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-73-2 [in Ukrainian].
6. Berman, B., & Evans, J. R. (2007). *Retail management: A strategic approach* (10th ed.). Pearson/Prentice Hall.
7. Dichtl, E., & Horschgen, H. (1988). *Practical marketing* [Praktisches Marketing]. Gabler Verlag.

PRODUCT RANGE POLICY OF CONCRETE PRODUCTION IN THE CONDITIONS OF THE MODERN MARKET: STRATEGIC, TECHNOLOGICAL AND MARKETING ASPECTS

Abstract. *The article examines key aspects of the assortment policy of concrete producers in Ukraine, focusing on practical approaches to the formation of the assortment in the conditions of the market recession that began after the full-scale invasion of Russia. The production, technological, marketing, managerial, economic and consumer factors of the assortment formation that determine the efficiency and profitability of enterprises are analyzed. In modern conditions of the construction market, the key factors of competitiveness are compliance with regulatory requirements, flexibility of production and implementation of innovative solutions and quality control systems. Special attention is paid to determining the optimal structure of the product portfolio, including ready-mixed concrete, building mortars, reinforced concrete products and special mixtures. The assortment policy of the enterprise should be dynamic, focused on different segments of consumers, taking into account logistics, stability of supply and constant optimization of products in accordance with market and regional conditions. The role of raw material quality, use of chemical additives, recipe control and laboratory control as key technological tools for ensuring product reliability is highlighted. The effectiveness of the activity is ensured by a balance between profitability, cost control and satisfaction of consumer needs, where product quality, reputation and individualization of solutions play an important role. Marketing and management aspects of the assortment policy emphasize the need to adapt the offer to the needs of different market segments, seasonal fluctuations and changes in demand. Economic efficiency and consumer orientation of the assortment policy ensure maximum commercial results and stability of enterprises in difficult crisis conditions of the market. Various aspects of optimizing the assortment portfolio of concrete producers are considered, in order to increase their competitiveness and improve overall strategic planning in the field of building materials.*

Key words: assortment policy, construction market, competitiveness, economic stability, price differentiation, consumer segmentation, portfolio optimization.

A. S. Maksimov
Ph.D., State Enterprise Scientific Research
State Enterprise "Research Institute of Building Production named after V. S. Balytskyi", Kyiv

N. M. Pokrovska
Ph.D.,
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

Дата першого надходження статті до видання: 20.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 625.721:004.94
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.10

Мусієнко І. В.
к.т.н., доцент кафедри проєктування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0001-5455-2335

ПРОГРАМНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ТРАСУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ – ГНУЧКИЙ БРАСЛЕТ: ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ТРАСИ В ПЛАНІ

Анотація. *Вступ. Традиційні методи трасування автомобільних доріг, що базуються на принципах тангенціального проєктування, мають суттєві обмеження: надмірна кількість довгих прямих та малих кривих, складність забезпечення оптимальних геометричних параметрів. Незважаючи на розвиток CAD-систем, проблема створення відкритих наукових методів оптимізації трасування залишається невирішеною, оскільки комерційні продукти використовують закриті алгоритми.*

Мета роботи. Програмна реалізація етапу формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані із застосуванням методу гнучкого браслета, розробленого автором у 2012 році як альтернативу полігональному трасуванню.

Матеріали та методи. Використано метод гнучкого браслета, який моделює трасу як ланцюг з'єднаних прямокутників із співвідношенням сторін за золотим перетином (φ = 1,618). Програмна реалізація здійснена в середовищі Windows Forms на мові C#. Застосовано математичний апарат подібного перетворення для трансформації координат між внутрішньою системою програми та геодезичною системою Гауса-Крюгера. Розроблено алгоритми визначення координат центрів сегментів, розрахунку дирекційних кутів, відстаней та кутів повороту.

Результат. Створено повноцінний програмний комплекс, що включає сім етапів розвитку: від концептуальних основ до практичного інструменту. Реалізовано функціонал інтеграції з топографічними даними, систему геоприв'язки через калібрування за трьома опорними точками, автоматизоване формування табличних даних з геометричними параметрами траси. Розроблений алгоритм забезпечує точність трансформації координат та автоматичне генерування звіту з координатами вершин, дирекційними кутами, відстанями та кутами повороту.

Висновки. Запропонований підхід забезпечує перехід від візуального моделювання до кількісних розрахунків параметрів траси, створюючи основу для подальшого застосування оптимізаційних алгоритмів, зокрема методу максимальних радіусів. Практична значущість полягає у можливості використання розробленого інструментарію у виробничій практиці проєктування автомобільних доріг.

Ключові слова: трасування автомобільних доріг, метод гнучкого браслета, комп'ютерно-системне проєктування, геометричні параметри траси, дирекційні кути, кути повороту, геоприв'язка, трансформація координат, оптимізація траси, САПР автомобільних доріг.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку дорожньо-транспортної інфраструктури особливої актуальності набуває проблема підвищення якості та ефективності трасування автомобільних доріг. Традиційні методи, що базуються на принципах тангенціального трасування, мають суттєві обмеження: надмірна кількість довгих прямих та малих кривих, складність забезпечення оптимальних геометричних параметрів і обмежена інтеграція з оптимізаційними алгоритмами. Це призводить до погіршення експлуатаційних характеристик доріг, що проєктуються, зниження рівня безпеки руху та збільшення витрат на будівництво і утримання.

Аналіз останніх досліджень. За останні десятиліття комп'ютерні технології суттєво трансформували підходи до проєктування автомобільних доріг. Було здійснено перехід від автоматизації обчислювальних процедур і креслярських операцій до впровадження інтелектуальних систем, орієнтованих на використання оптимізаційних алгоритмів [1–2]. Утім, попри значні досягнення у сфері CAD-систем, проблема створення та впровадження відкритих наукових методів оптимізації трасування в плані залишається невирішеною [3–4]. Більшість сучасних комерційних програмних продуктів (зокрема, Trimble Quantm [5], Softree Optimal [6]) використовують закриті алгоритми, що обмежує можливості їх академічного аналізу та відтворення.

Аналіз останніх досліджень свідчить, що одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є метод гнучкого браслета (Flexible Bracelet Method, FBM), розроблений автором у 2012 році [7]. У попередніх роботах було:

– сформульовано ідеологію комп'ютерно-системного (одноваріантного) проєктування доріг [8];

– розроблено фізичну та математичну модель гнучкого браслета як альтернативу принципу полігонального трасування [7];

– створено перші програмні прототипи з можливістю побудови та маніпулювання ланцюгами сегментів браслета [9];

– реалізовано функцію визначення координат середин сегментів для подальшого розрахунку параметрів траси;

– апробовано метод максимальних радіусів як складову алгоритмів трасування [10].

Попередні публікації заклали підґрунтя для формування цілісного програмного комплексу, здатного забезпечити не лише ескізне трасування, але й автоматизований перехід до обчислення параметрів проєктної лінії дороги. Наступним логічним кроком є розробка функціоналу для формування вихідних даних у табличній формі, які включають координати, дирекційні кути, довжини відрізків та кути повороту.

Мета роботи. Мета дослідження полягає у програмній реалізації етапу формування вихідних даних для подальшого розрахунку параметрів траси в плані із застосуванням методу гнучкого браслета.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

– розробити алгоритм автоматизованого отримання координатних і геометричних параметрів траси за результатами побудови гнучкого браслета;

– створити програмний модуль для формування результатів у табличному вигляді;

– здійснити апробацію розробленого інструментарію на тестових прикладах.

Таким чином, робота є наступним етапом довгострокового дослідження з програмного впровадження методу гнучкого браслета і спрямована на перехід від концептуальних рішень до прикладних інструментів, придатних для використання у виробничій практиці трасування автомобільних доріг.

Результати досліджень. Етапи розвитку методу трасування «гнучкий браслет». Доцільно розділити розвиток методу трасування «гнучкий браслет» на наступні етапи (рис. 1):

1) концептуальний етап (2008–2012 рр.);

2) перша комп'ютерна реалізація (2013–2015 рр.);

3) інструментарій маніпулювання (2016–2018 рр.);

4) інтеграція з топографічними даними (2019–2021 р.);

Рис. 1. Етапи розвитку методу трасування «гнучкий браслет»

5) система координат та геоприв'язка (2022–2024 р.);

6) визначення координат центрів сегментів (2025 р.);

7) геометричні параметри траси (2026 р.).

Концептуальний етап: теоретичні основи комп'ютерно-системного підходу. Концептуальний етап характеризувався формуванням теоретичного підґрунтя для нового підходу до автоматизованого проєктування автомобільних доріг. Ключовою передумовою стала критична оцінка існуючих методів варіантного проєктування, які, незважаючи на використання потужних комп'ютерних засобів, залишалися обмеженими принципами ручного проєктування.

Було запропоновано концепцію комп'ютерно-системного підходу, що базувався на фундаментальному припущенні про існування єдиного оптимального рішення для заданої комбінації початкових критеріїв [8]. На відміну від традиційного варіантного проєктування, де інженер розробляє декілька альтернативних варіантів траси і вибирає найкращий, новий підхід передбачав математичне визначення оптимального рішення через систему цільових функцій та обмежень.

Теоретичною основою слугувала теорія систем та методи математичної оптимізації. Автор визначив, що головним інтегральним критерієм має бути мінімізація довжини траси при дотриманні геометричних, ситуаційних та рельєфних обмежень. Цей критерій природним чином забезпечує дотримання вимог економічності (зменшення капітальних витрат), екологічності (мінімізація впливу на навколишнє середовище) та частково безпеки руху [8].

Етап первинної комп'ютерної реалізації: від концепції до програмного інструменту. Перехід від теоретичних положень до практичної реалізації потребував розробки адекватної математичної моделі та відповідного програмного забезпечення. На цьому етапі було створено первинний прототип програми, що реалізував базові принципи методу гнучкого браслета [7].

Фундаментальною ідеєю стало використання дискретної моделі траси у вигляді ланцюга з'єднаних геометричних елементів – прямокутників з відношенням сторін згідно золотого перетину ($\varphi = 1{,}618$). Вибір такого відношення обґрунтовувався естетичними та психофізіологічними принципами сприйняття просторових форм (рис. 2).

Програмна реалізація здійснювалася у середовищі Windows Forms з використанням мови програмування C#. Базова функціональність включала [9]:

– створення ланцюга сегментів довільної довжини;

– задання параметрів сегментів (довжина короткої сторони, розмір з'єднувальних ланок);

– візуалізацію браслета в графічному вікні;

– первинні засоби маніпулювання структурою.

Розвиток інструментарію маніпулювання: моделювання фізичної поведінки. Третій етап характеризувався значним удосконаленням можливостей взаємодії користувача з моделлю гнучкого браслета. Було реалізовано два принципово різних режими керування, що моделювали різні аспекти фізичної поведінки гнучкої структури.

Режим локального керування (Ctrl + клік на сегменті з затриманням) забезпечував можливість обертання окремих сегментів навколо точок з'єднання. Математично це реалізува-

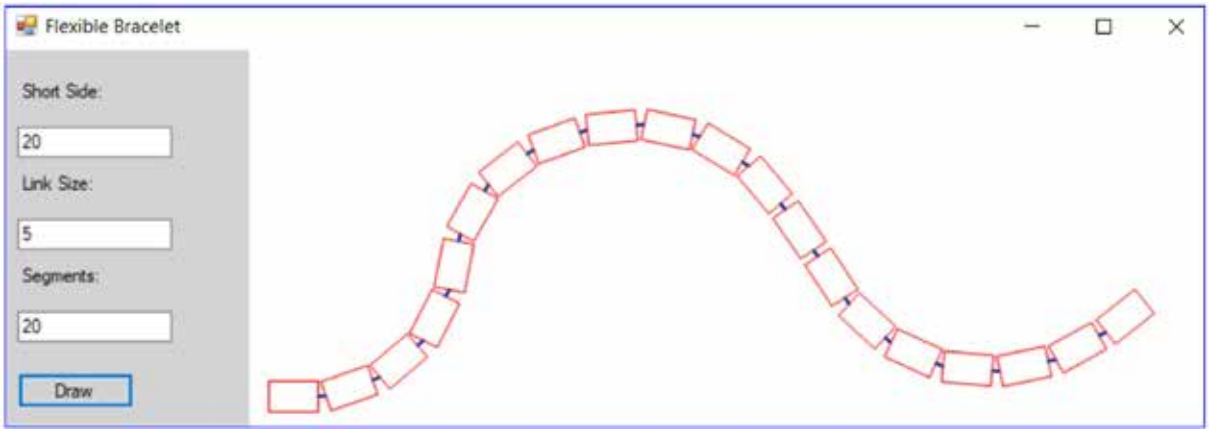


Рис. 2. Початок програмної реалізації методу трасування «гнучкий браслет»

лося через обчислення нового кута повороту сегмента. Критичним елементом стало введення геометричних обмежень для запобігання перетину сегментів:

$$\sin\Theta \le 2\frac{l}{s}, \quad (1)$$

де Θ – кут повороту;

l – довжина з'єднувальної ланки;

s – ширина сегмента.

Режим глобального керування (Shift + клік на сегменті з затриманням) моделював поведінку браслета як цілісної фізичної системи. Алгоритм включав:

– визначення напрямку руху захопленого сегмента;

– послідовне переміщення суміжних сегментів до граничних положень;

– каскадне поширення руху по всій структурі;

– контроль відсутності колізій між елементами.

Інтеграція з топографічними даними: перехід до практичного застосування. Четвертий етап ознаменував перехід від абстрактного моделювання до практичного інструменту проєктування через інтеграцію з реальними картографічними даними. Було реалізовано можливість завантаження растрових зображень топографічних карт у форматах.bmp,. jpeg та їх використання як підоснови для трасування.

Технічна реалізація включала:

– модуль завантаження та відображення растрових зображень;

– систему масштабування та позиціонування підоснови;

– засоби накладання браслета на топографічну карту;

– візуальний контроль відповідності траси ситуаційним та рельєфним умовам.

Цей етап забезпечив принципово новий рівень взаємодії з реальними проектними умовами, дозволивши користувачу враховувати існуючі об'єкти, рельєф місцевості та інші фактори при формуванні ескізної лінії траси.

Розробка системи трансформації координат: перехід до геодезичних координат. П'ятий етап вирішив критично важливу задачу переходу від внутрішньої системи координат програми до реальної геодезичної системи координат. Було досліджено декілька підходів до трансформації координат та обрано подібне перетворення (similarity transformation) як найбільш адекватне для поставленої задачі.

Математичний апарат трансформації базувався на композиції елементарних операцій:

– масштабування;

– поворот;

– перенесення.

Алгоритм калібрування включав сім послідовних кроків:

– ініціалізація процесу калібрування;

– введення координат трьох опорних точок кілометрової сітки;

– обчислення параметрів трансформації;

– визначення зсуву растру;

– пряме перетворення координат (геодезичні координати (ГК) $\rightarrow$ GDI+);

– обернене перетворення координат (GDI+ $\rightarrow$ ГК);

– верифікація точності трансформації.

Точність трансформації контролювалася через обчислення залишкових похибок для кожної опорної точки та загальної середньоквадратичної похибки.

Визначення координат центрів сегментів: алгоритмічна основа для подальших розрахунків. Шостий етап забезпечив розробку алгоритму точного визначення координат центрів кожного сегмента браслета в геодезичній системі координат. Це стало критично важливим кроком для переходу від візуального моделювання до кількісних розрахунків параметрів траси.

Алгоритм методу GetAllSegmentCenters() реалізував наступну послідовність:

– визначення опорних точок сегментів;

– обчислення кумулятивних кутів;

– визначення центрів сегментів.

Визначення геометричних параметрів траси: формування вихідних даних. Сьомий етап завершив цикл отримання всіх необхідних геометричних параметрів для подальшого застосування оптимізаційних алгоритмів. На цьому етапі було використано математичний апарат для визначення дирекційних кутів, кутів повороту та відстаней між вершинами кутів повороту траси (рис. 3).

Розрахунок дирекційних кутів здійснювався за формулою:

$$\alpha_i = \arctan\left(\frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}\right), \quad (2)$$

де X_i, X_{i+1}, Y_i, Y_{i+1} – координати вершин – кутів повороту.

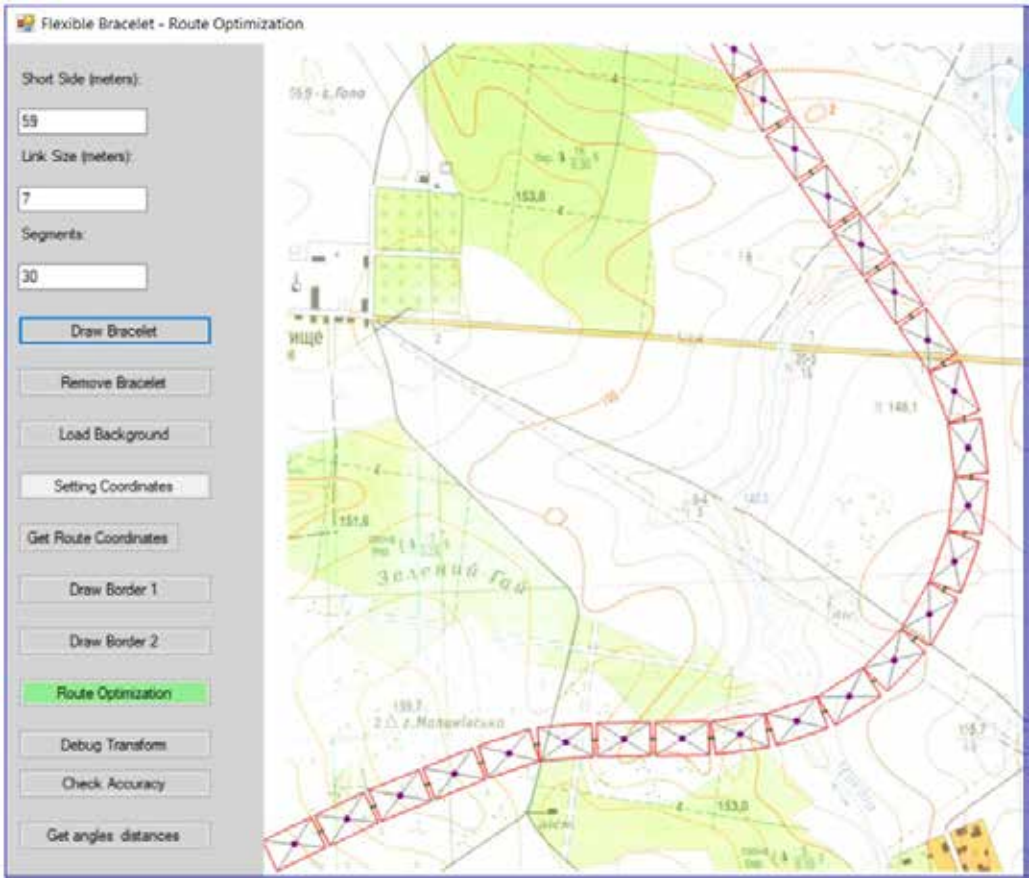


Рис. 3. Поточний вигляд програмної реалізації методу трасування «гнучкий браслет»

Визначення кутів повороту (з урахуванням переходу через 0°/360°):

$$\Theta_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i. \quad (3)$$

Обчислення відстаней між точками:

$$d_i = \sqrt{\left(X_{i+1} - X_i\right)^2 + \left(Y_{i+1} - Y_i\right)^2}. \quad (4)$$

Результатом цього етапу стало формування структурованої таблиці даних (рис. 4).

Наукова новизна та практична значущість. Представлений семиетапний розвиток методу гнучкого браслета демонструє послідовну еволюцію від теоретичної концепції до повноцінного програмного інструменту. Наукова новизна полягає у:

– концептуальному рівні: розробка теоретичних основ комп'ютерно-системного підходу до проєктування доріг;

– методологічному рівні: створення оригінального методу дискретного моделювання траси через фізичну аналогію;

– алгоритмічному рівні: розробка ефективних алгоритмів трансформації координат та визначення геометричних параметрів;

– прикладному рівні: створення інтегрованого програмного рішення для автоматизованого проєктування.

Практична значущість визначається можливістю подальшого застосування отриманих результатів у складі оптимізаційних алгоритмів проєктування автомобільних доріг, зокрема методу максимальних радіусів.

Алгоритм функції формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані. Призначення: функція розраховує дирекційні кути, відстані та кути повороту між сегментами гнучкого браслету, що моделює трасу автомобільної дороги.

Вхідні дані:

– координати центрів всіх сегментів браслету;

– калібрувальні параметри системи координат;

– кількість сегментів (segmentCount).

Алгоритм функції формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані складається з наступних операцій:

1) ініціалізація та перевірки:

– перевірити наявність намальованого браслету;

ANGLES AND DISTANCES REPORT

Segment	X (m) -	Y (m)	Direction Angle	Distance (m)	Turn Angle
1	6064572,00	311720,80	-	-	-
2	6064612,00	311815,00	066°59'23"	102,329	-
2	6064612,00	311815,00			
3	6064650,00	311910,20	068°15'02"	102,550	001°15'38"
3	6064650,00	311910,20			
4	6064684,00	312006,70	070°19'17"	102,452	002°04'16"
4	6064684,00	312006,70			
5	6064715,00	312104,20	072°21'43"	102,310	002°02'26"
5	6064715,00	312104,20			
6	6064732,00	312204,60	080°40'04"	101,753	008°18'21"
6	6064732,00	312204,60			
7	6064732,00	312307,00	089°43'13"	102,407	009°03'09"
7	6064732,00	312307,00			
8	6064730,00	312409,40	091°23'54"	102,437	001°40'42"

Рис. 4. Звіт по координатам, дирекційним кутам, відстаням та кутам повороту

– перевірити калібрування системи координат;

– створити список для зберігання реальних координат;

– створити заголовок звіту та таблиці;

2) отримання координат сегментів:

– отримати позицію сегмента в глобальних GDI+ пікселях;

– перетворити в реальні координати;

– додати координати до списку;

3) основний цикл обробки пар точок;

4) розрахунок різниць координат;

5) розрахунок дирекційного кута:

– обчислити дирекційний кут у радіанах;

– перетворити в градуси;

– привести до діапазону [0°, 360°];

6) розрахунок відстані за теоремою Піфагора (формула 4);

7) розрахунок кута повороту (формула 3);

8) форматування даних:

– перетворити дирекційний кут у формат градуси – хвилини – секунди (ГХС);

– перетворити кут повороту у формат ГХС;

9) виведення результатів у таблицю;

10) оновлення змінних (зберегти поточний дирекційний кут для наступної ітерації);

11) завершення:

– додати примітки до звіту;

– додати інформацію про калібрування;

– зберегти звіт у текстовий файл;

– показати повідомлення про успішне збереження.

Обробка кутів:

– дирекційні кути приводяться до діапазону [0°, 360°];

– кути повороту приводяться до діапазону [–180°, +180°];

– позитивні кути повороту – праві повороти;

– негативні кути повороту – ліві повороти.

Система координат:

– *X* – напрямок на північ (вісь абсцис);

– *Y* – напрямок на схід (вісь ординат);

– кути відраховуються від позитивного напрямку осі *X* за годинниковою стрілкою.

Геодезичні обчислення:

– використовується обернена геодезична задача у спрощеному вигляді;

– враховується специфіка системи координат Гауса-Крюгера;

– забезпечується послідовність обчислень від першого до останнього сегмента.

Контроль якості:

– перевірка вхідних даних на коректність;

– валідація результатів калібрування;

– обробка граничних випадків (перша/остання пара точок).

Схема алгоритму функції формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані наведена на рисунку 5.

Висновки. У результаті проведеного дослідження успішно реалізовано програмне впровадження методу трасування автомобільних доріг «гнучкий браслет» з формуванням вихідних даних для розрахунку параметрів

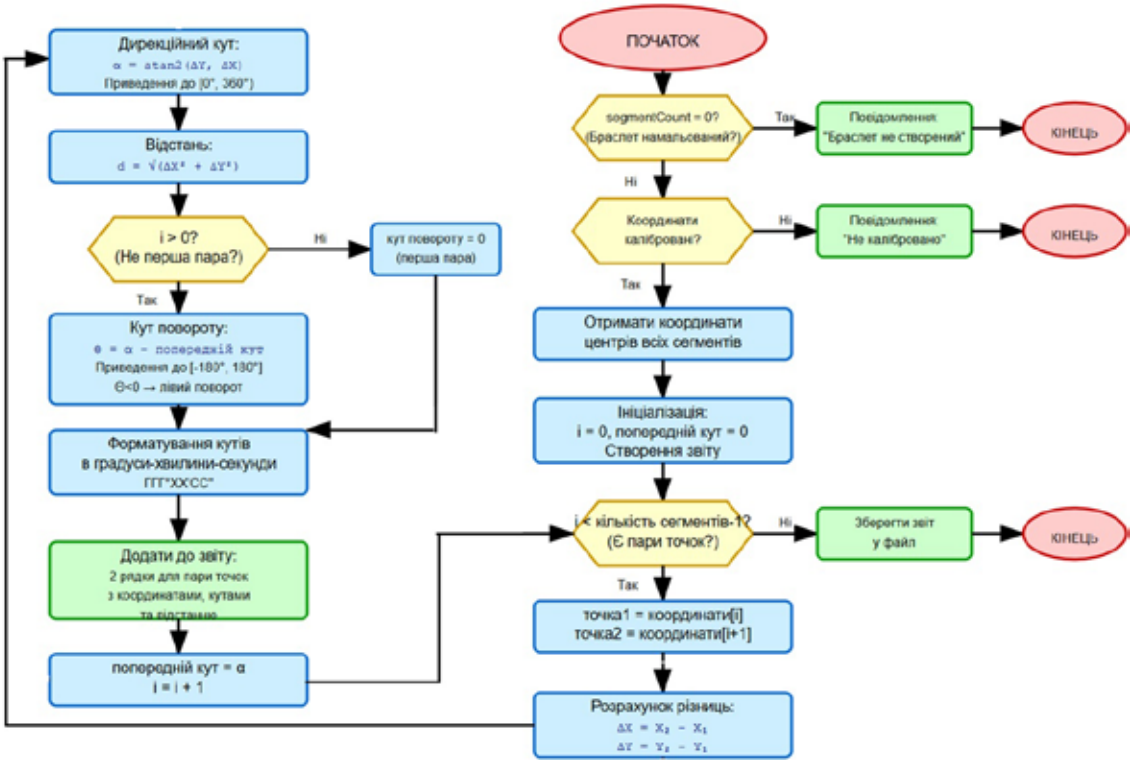


Рис. 5. Схема алгоритму функції формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані

траси в плані. Розроблений програмний комплекс пройшов еволюцію від концептуальних теоретичних основ комп'ютерно-системного підходу до повноцінного інструменту проєктування, що включає сім послідовних етапів розвитку.

Основними досягненнями програмного комплексу є створення інтегрованої системи, яка забезпечує: моделювання траси через фізичну аналогію гнучкої структури з використанням сегментів із співвідношенням сторін за золотим перетином; інтеграцію з топографічними даними через завантаження растрових карт; точну геоприв'язку через систему калібрування за трьома опорними точками; автоматизоване визначення координат центрів сегментів у геодезичній системі Гауса-Крюгера; формування структурованої таблиці вихідних даних з координатами вершин кутів повороту, дирекційними кутами, відстанями між вершинами та кутами повороту траси.

Розроблений алгоритм забезпечує перехід від візуального ескізного трасування до точних кількісних розрахунків, створюючи надійну основу для подальшої оптимізації геометричних параметрів проєктної лінії. Практична цінність полягає у створенні відкритого наукового методу, на відміну від закритих алгоритмів комерційних програмних продуктів, що дозволяє здійснювати академічний аналіз та вдосконалення методології.

Першочерговими завданнями подальших досліджень є впровадження методу максимальних радіусів для оптимізації параметрів кривих у плані та автоматизоване формування відомості прямих, кривих та кутів повороту траси. Це дозволить завершити повний цикл проєктування траси в плані та забезпечити перехід від ескізного трасування до остаточного проєктного рішення, придатного для безпосереднього використання у виробничій практиці проєктування автомобільних доріг.

Література

1. Lopes E., Menezes R., Silva T., Pitanga H., Santos A., Ferraz A. Comparative study of software for road geometric design. *Acta Scientiarum. Technology*. 2019. Vol. 41. P. 36959. DOI: 10.4025/actascitechnol.v41i2.36959
2. Biancardo S.A., Viscione N., Cerbone A., Dessì E. Jr. BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls. *Infrastructures*. 2020. Vol. 5. No. 59. DOI: https://doi.org/10.3390/infrastructures5070059.
3. Zhang T., Gao Y., Gao T., Schonfeld P. M., Wu Y., Zhu Y., Yang S., Wang P., He Q. A sequential exploration algorithm for the design optimization of horizontal road alignment. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2023. Vol. 38, No. 15. P. 2049–2071. DOI: https://doi.org/10.1111/mice.12990
4. Sushma M. B., Maji A. A modified motion planning algorithm for horizontal highway alignment development. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2020. Vol. 35, No. 8. P. 818-831. DOI: https://doi.org/10.1111/mice.12534
5. Petroglyph Projects. Official Website. URL: https://www.petroglyphprojects.com/software-solutions/quantm/ (дата звернення: 25.03.2026).
6. Softree. Official Website. URL: https://www.softree.com/products/optimization (дата звернення: 25.03.2026).
7. Musiienko I. V. The Implementation of Highways Tracing Physical Model – "flexible Bracelet". Transbaltica 2015, Procedia Engineering, 9th International Scientific Conference (Vilnius, 2016). 2016. Vol. 134. P. 366–371.
8. Musiienko I. The computer systems approach in highways designing as a part of computer aided designing. Transbaltica 2013. Proceedings of the 8th International Scientific Conference. Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University, 2013. P. 140–142.
9. Мусієнко І. В. Фундаментальні принципи програмної реалізації трасування автомобільних доріг методом гнучкого браслета. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету : зб. наук.* пр. Харків : ХНАДУ, 2025. Вип. 108. С. 257–262. DOI: https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.108.0.257 URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/25131 (дата звернення: 25.03.2026).
10. Musiienko I. Tracing of Highways Using the Maximum Radius Method. Transport Means 2024 : Proceedings of 28th International Scientific Conference, Kaunas, Lithuania, 02–04 October 2024. Kaunas, 2024. P. 641–646. DOI: https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P641-646

References

1. Lopes, E., Menezes, R., Silva, T., Pitanga, H., Santos, A., & Ferraz, A. (2019). Comparative study of software for road geometric design. *Acta Scientiarum. Technology, 41*, Article 36959. https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v41i2.36959
2. Biancardo, S. A., Viscione, N., Cerbone, A., & Dessì, E., Jr. (2020). BIM-based design for road infrastructure: A critical focus on modeling guardrails and retaining walls. *Infrastructures, 5*(7), Article 59. https://doi.org/10.3390/infrastructures5070059
3. Zhang, T., Gao, Y., Gao, T., Schonfeld, P. M., Wu, Y., Zhu, Y., Yang, S., Wang, P., & He, Q. (2023). A sequential exploration algorithm for the design optimization of horizontal road alignment. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 38*(15), 2049–2071. https://doi.org/10.1111/mice.12990
4. Sushma, M. B., & Maji, A. (2020). A modified motion planning algorithm for horizontal highway alignment development. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 35*(8), 818–831. https://doi.org/10.1111/mice.12534
5. Petroglyph Projects. (n.d.). *Quantm software solutions*. Retrieved March 25, 2026, from https://www.petroglyphprojects.com/software-solutions/quantm/
6. Softree. (n.d.). *Road alignment optimization software*. Retrieved March 25, 2026, from https://www.softree.com/products/optimization
7. Musiienko, I. V. (2016). The implementation of highways tracing physical model – "flexible bracelet". *Procedia Engineering, 134*, 366–371. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.021
8. Musiienko, I. (2013). The computer systems approach in highways designing as a part of computer aided designing. In *Transbaltica 2013: Proceedings of the 8th International Scientific Conference* (pp. 140–142). Vilnius Gediminas Technical University.
9. Musiienko, I. V. (2025). Fundamentalni pryntsypy prohramnoi realizatsii trasuvannia avtomobilnykh dorih metodom hnuchkoho brasleta [Fundamental principles of software implementation of highways tracing by the flexible bracelet method]. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University, 108*, 257–262. https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.108.0.257
10. Musiienko, I. (2024). Tracing of highways using the maximum radius method. In *Transport Means 2024: Proceedings of the 28th International Scientific Conference* (pp. 641–646). https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P641-646

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE FLEXIBLE BRACELET METHOD FOR HIGHWAY ALIGNMENT: FORMATION OF INPUT DATA FOR CALCULATING ROUTE PARAMETERS IN PLAN

Abstract. *Introduction. Traditional methods of highway alignment based on tangential design principles have significant limitations: excessive number of long straights and small curves, complexity in ensuring optimal geometric parameters. Despite the development of CAD systems, the problem of creating open scientific methods for alignment optimization remains unsolved, as commercial products use closed algorithms.*

Purpose. Software implementation of the stage for forming initial data for calculating horizontal alignment parameters using the flexible bracelet method, developed by the author in 2012 as an alternative to polygonal alignment.

Materials and Methods. The flexible bracelet method is used, which models the route as a chain of connected rectangles with a side ratio according to the golden section (φ = 1.618). Software implementation is carried out in Windows Forms environment using C#. The mathematical apparatus of similarity transformation is applied for coordinate transformation between the program's internal system and the Gauss-Krueger geodetic system. Algorithms for determining segment center coordinates, calculating directional angles, distances and deflection angles have been developed.

Results. A complete software complex has been created, including seven development stages: from conceptual foundations to a practical tool. Functionality for integration with topographic data, a georeferencing system through calibration using three reference points, and automated formation of tabular data with geometric route parameters have been implemented. The developed algorithm ensures coordinate transformation accuracy and automatic generation of reports with vertex coordinates, directional angles, distances and deflection angles.

Conclusions. The proposed approach ensures the transition from visual modeling to quantitative calculations of route parameters, creating a basis for further application of optimization algorithms, particularly the maximum radius method. Practical significance lies in the possibility of using the developed tools in the industrial practice of highway design.

Key words: highway alignment, flexible bracelet method, computer-system design, horizontal alignment parameters, directional angles, deflection angles, georeferencing, coordinate transformation, route optimization, highway CAD systems.

I. V. Musiienko
Ph.D., Associate Professor at the Department of Road Design, Geodesy and Land Management,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 72.01:72.04:72.09
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.11

Непочатих Є. А.
доцент кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0000-0002-0617-7873

Губанов О. В.
к.а.н., доцент кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0000-0001-6833-489X

В'язовський В. Є.
старший викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0000-0002-8113-1859

Мелкомукова М. Г.
старший викладач кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 009-0003-1778-1704

Бережна А. О.
здобувачка вищої освіти кафедри архітектури та дизайну,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
ORCID: 0009-0007-6383-0529

ЕМОЦІЙНА АРХІТЕКТУРА ЯК СИНТЕЗ МИСТЕЦТВА, ІСТОРІЇ ТА СУЧАСНОГО ФОРМОТВОРЕННЯ

Анотація. *Архітектура не лише визначає функціональність і естетичний вигляд будівель, але й глибоко впливає на психологічне сприйняття простору. Розуміння цих впливів дозволяє архітекторам проектувати простори, які позитивно впливають на емоційний стан і якість життя людей.*

Метою дослідження є виявлення особливостей емоційної архітектури як явища, що виникає на перетині мистецтва, історичної спадщини та сучасного формотворення; визначення принципів і засобів, за допомогою яких архітектура здатна викликати емоційний відгук у людини, формувати глибший зв'язок із простором, а також дослідження ролі культурного контексту та новітніх архітектурних підходів у створенні емоційно виразного архітектурного середовища.

Матеріали та методи. Емоційна архітектура – це концепція, що поєднує в собі естетику, психологію та просторове проєктування. Основна мета такого підходу – створити простір, який викликає певні емоції, підтримує психоемоційний комфорт і сприяє гармонії між людиною та навколишнім середовищем. В архітектурі важливо не лише, як будівля виглядає, а й як вона впливає на людину, яка в ній перебуває. Емоційна архітектура враховує такі чинники, як освітлення, текстура, форма, звуки та колір.

Результати. Проведене дослідження засвідчує, що емоційна архітектура є важливим напрямом сучасного архітектурного мислення, який виходить за межі утилітарного підходу до проєктування і спрямований на створення простору, що взаємодіє з емоційним та культурним досвідом людини. Виявлено, що емоційний вплив архітектури досягається через комплекс візуальних, просторових і матеріальних засобів – світлотіньові ефекти, текстури, масштаб, пластичність форм, історичні цитати тощо. При цьому архітектура перетворюється

на мову вираження сенсів і переживань. Історичний контекст відіграє роль не лише як джерело формальних рішень, а як активний учасник створення емоційної атмосфери. Переосмислення історичних тем, архетипів та стилістики дозволяє сучасній архітектурі зберігати спадкоємність, залишаючись водночас відкритою до новацій. Проаналізовано вплив емоційної архітектури на сучасні архітектурні тенденції. Сучасне формотворення, що ґрунтується на інноваційних технологіях, біоніці, мінімалізмі та інтерактивності, розширює інструментарій архітектора у формуванні емоційного простору, дозволяючи адаптувати його під змінні запити користувачів та динаміку урбаністичного середовища. Нарешті, ключовим результатом дослідження стало розуміння, що в основі емоційної архітектури лежить антропоцентризм: створення середовища, яке «відчуває» людину, реагує на її потреби та емоційний стан. Архітектура стає не лише формою, але й комунікатором – провідником між простором, часом та внутрішнім світом людини.

Висновки. У процесі дослідження було виявлено, що емоційна архітектура як концепція виявляється у здатності архітектурного простору викликати у людини глибокі емоційні переживання, формуючи не лише функціональне середовище, але й атмосферу, здатну комунікувати з особистістю на інтуїтивному та культурному рівнях. Результати аналізу низки об'єктів (як історичних, так і сучасних) довели, що найбільш емоційно резонансні архітектурні твори є результатом свідомого поєднання художніх прийомів, історичних наративів та інноваційних формотворчих рішень. Такий синтез дозволяє не лише зберегти культурну спадкоємність, але й переосмислити її в нових контекстах, створюючи багаторівневий архітектурний досвід. Історичний контекст відіграє ключову роль у створенні емоційної глибини архітектурного простору. Через інтеграцію символічних форм, цитування архетипів або переосмислення традицій архітектура може викликати відчуття пам'яті, ностальгії або культурної приналежності. У центрі емоційної архітектури – людина як цілісна особистість, зі своїми емоціями, досвідом, сприйняттям та культурною пам'яттю. Емоційна архітектура не лише створює фізичне середовище, а й формує атмосферу, в якій людина відчуває себе включеною, зрозумілою та емоційно залученою. Отже, емоційна архітектура постає як синтетичне явище, що поєднує художню експресію, історичну глибину та сучасну технологічність, формуючи нову якість архітектурного середовища, яке здатне не лише задовольняти потреби, але й надихати.

Ключові слова: емоційна архітектура, біометрична технологія, психологія.

Постановка проблеми. У сучасному світі архітектура дедалі частіше виходить за межі утилітарного просторового мислення, перетворюючись на потужний засіб емоційного впливу. Вона не лише формує фізичне середовище, а й активно взаємодіє з внутрішнім світом людини, викликаючи відгук на рівні відчуттів, спогадів та асоціацій. Поняття «емоційна архітектура» виникає як відповідь на потребу створення середовища, здатного комунікувати з людиною через естетику, історичні коди та новітні формотворчі практики. Такий підхід передбачає синтез мистецтва як джерела емоцій, історії як носія ідентичності та пам'яті, а також сучасного дизайну, що відповідає викликам часу.

Ця стаття присвячена аналізу емоційної архітектури як багатовимірного явища, яке формується на перетині культурних, художніх і технологічних контекстів. Далі в статті розглянемо яким чином архітектура може передавати настрій, ідеї та цінності, впливаючи на людину не лише через функцію, але й через емоційне сприйняття простору.

Архітектура – це не тільки мистецтво створення будівель, але й наука про те, як вони впливають на людей, які в них живуть або перебувають. Архітектура формує наше сприйняття простору, наш настрій, нашу продуктивність, нашу соціальну поведінку і навіть наше здоров'я. Архітектура впливає на психологічний стан людини.

Аналіз останніх досліджень. Сприйняття атмосфери простору відіграє ключову роль у тому, як ми «відчуваємо» архітектуру через свої емоції, формуючи наші емоційні реакції на неї. Майкл Арбіб, північноамериканський обчислювальний нейронауковець, стверджує, що поняття «атмосфери» в контексті будівлі є взаємодією між спостерігачем і структурою, де домінуючий тон або настрій миттєво впливає на людину, спонукаючи або, навпаки, стримуючи певні дії.

Юхані Палласмаа, фінський архітектор і теоретик, якось зазначив: «Світло є найпотужнішим чинником, що формує атмосферу місця, найвсеохопнішим критерієм характеру

простору, місця та середовища». Ця позиція узгоджується з думкою італійського архітектора Давіда Руццона, який вважає, що світло «є одним із найважливіших шарів, через які ми можемо розкривати архітектурний інтер'єрний простір».

Втім, залишається питання: що таке «атмосфера»? За словами німецького філософа Гернота Бьоме, онтологічний статус атмосфер залишається невизначеним. Незрозуміло, чи належать вони об'єктам або середовищам, які їх випромінюють, чи суб'єктам, що їх сприймають. По суті, атмосфера підкреслює взаємозв'язок між суб'єктом і об'єктом, зосереджуючись на естетиці взаємодії між якостями середовища та людськими емоціями. [1]

Одним з основних факторів, який визначає наш емоційний стан, є колір. Колір може викликати різні почуття, залежно від його відтінку, насиченості і контексту. Наприклад, червоний колір може асоціюватися з любов'ю, пристрастю, агресією або небезпекою. Синій колір може справляти враження спокою, довіри, холодності або суму. Зелений колір може нагадувати про природу, свіжість, релаксацію або заздрощі.

Архітектори можуть використовувати колір як засіб створення певної атмосфери в приміщенні або на фасаді будинку. Наприклад, у дитячих садках часто застосовуються яскраві і радісні кольори, щоб стимулювати розвиток і гру дитини. У лікарнях же переважають світлі і спокійні кольори, щоб зменшити стрес і боляче враження хворих. У банках і офісах часто використовують синьо-сіру гамму, щоб показати серйозність і надійність.

Архітектори можуть використовувати різні прийоми для покращення просторової орієнтації людей. Наприклад, вони можуть створювати легко розпізнаванні орієнтири, такі як пам'ятники, фонтани, скульптури тощо. Вони також можуть використовувати контрастні кольори, форми і матеріали для виділення окремих елементів або зон. Вони також можуть створювати логічну і зручну систему нумерації будинків, поверхів і кімнат. Все це допоможе людям легше орієнтуватися в просторі і запам'ятовувати його.

Архітектура і соціальна поведінка.

Ще одним аспектом, який впливає на нашу психологію, є соціальна поведінка.

Архітектори можуть використовувати різні прийоми для впливу на соціальну поведінку людей. Наприклад, вони можуть враховувати потреби і інтереси різних груп людей, створюючи простори для їх зустрічей і взаємодії. Вони також можуть застосовувати принципи універсального дизайну, щоб забезпечити доступність і комфорт для всіх людей, незалежно від їх віку, статі, раси, культури, релігії, стану здоров'я тощо. Вони також можуть використовувати елементи природного дизайну, щоб створити гармонійне і здорове середовище для людей і природи.

«Емоційна архітектура» – це термін, який ввели в ужиток мексиканський архітектор **Луїс Барраган** і скульптор-художник Матіас Гориця. Цей термін означає побудову будинків, які здатні викликати у людей емоції. Даний напрямок дозволяє уникнути банальних архітектурних конструкцій і посилається на підхід, орієнтований на людські потреби.

Емоційна архітектура базується на нашій увазі та настрої. Вона пов'язана з багатьма атрибутами що впливають на психологічний стан, такими як колір, матеріали та багато іншого. Як правило, люди відчувають себе більш розслабленими, коли їх оточують матеріали взяті з самої природи, такі як дерево або камені. І, навпаки, матеріали виготовлені людиною сприймаються як холодні. [2]

Сучасні архітектори і дизайнери часто співпрацюють з психологами, аби створити середовища, що підтримують психічне здоров'я. Наприклад, у лікарнях використовують кольори, що знижують рівень стресу, а в школах – ті, що сприяють концентрації та навчанню.

Різні кольори викликають різні емоції, наприклад:

– **Синій** – асоціюється зі спокоєм, умиротворенням. Часто використовується в спальнях, медичних та офісних приміщеннях.

– **Зелений** – символ природи, балансу й оновлення. Добре підходить для зон відпочинку.

– **Червоний** – збуджує, активізує емоції, підвищує енергію. Підходить для динамічних просторів, але у великих дозах може викликати тривогу.

– **Жовтий** – стимулює розумову активність і настрій, підходить для кухонь і дитячих кімнат.

– **Сірий та нейтральні тони** – створюють відчуття стабільності та простору, але при надмірному використанні можуть виглядати холодно та відсторонено.

Урбаністичне середовище достатньо «агресивно» впливає на психіку людини, що пере-

буває в ньому, оскільки воно суттєво відрізняється від природніх умов проживання, до якого людина еволюційно пристосовувалась тисячоліттями. Постійне візуальне сприйняття середовища (зокрема міського), його насиченість зоровими елементами здійснює значний вплив на психологічний стан людини.

Середовище, що візуально сприймається людиною, – одне із головних компонентів комфортного життєзабезпечення. Значна частина інформації що сприймається людиною – це візуальна інформація (біля 80 %). І така інформація безумовно впливає в значній мірі як на здоров'я так і на процеси життєдіяльності людини подібно, як діють температура, світло, вологість та інші природні чинники. Більшу частину своєї історії людство провело в оточенні природного середовища, яке сформувало нашу систему зорового сприйняття.

Архітектура не лише визначає функціональність і естетичний вигляд будівель, але й глибоко впливає на психологічне сприйняття простору. Від того, як ми відчуваємо і взаємодіємо з простором, залежить наше самопочуття, продуктивність і навіть соціальна поведінка.

Якість просторового планування може значно вплинути на те, як ми сприймаємо простір. Великі, відкриті простори можуть створювати відчуття свободи і простору, в той час як маленькі, замкнуті кімнати можуть викликати почуття дискомфорту або тиску. Архітектори використовують різні техніки, такі як пропорції і масштаб, щоб маніпулювати нашим відчуттям простору і створювати бажані емоційні реакції. [3]

Текстура і матеріали, з яких виготовлені стіни, підлоги та меблі, впливають на наше фізичне і психологічне сприйняття простору. Наприклад, дерев'яні поверхні можуть створювати відчуття теплоти і природності, тоді як гладкі, металеві або скляні поверхні можуть виглядати сучасно і елегантно, але можуть також сприйматися як холодні і відчужені.

Акустика простору може суттєво впливати на наше сприйняття комфорту. Гучні, ехо-заповнені приміщення можуть викликати стрес або тривогу, тоді як добре спроектовані акустичні рішення можуть створити спокійне і комфортне середовище. Важливо враховувати, як звуки поширюються по простору і як це впливає на наші відчуття.

Архітектурні рішення, що забезпечують функціональність і можливість адаптації простору під різні потреби, також грають важливу роль у психологічному сприйнятті. Простори, які можна легко налаштувати або перетворити, створюють відчуття контролю і свободи, що позитивно впливає на психічний стан мешканців.

Інтеграція природних елементів у будівельний дизайн може мати значний позитивний вплив на психологічне сприйняття простору. Вікна з видом на зелень, використання натуральних матеріалів і інтеграція елементів природи в інтер'єр сприяють зниженню стресу і підвищенню загального благополуччя.

Освітлення і колір є критично важливими аспектами, які формують наше сприйняття простору. Яскраве, природне освітлення може покращити настрій і підвищити енергійність, тоді як м'яке, розсіяне світло створює атмосферу затишку і спокою. Колір стін і меблів також грає важливу роль: теплі кольори можуть створювати відчуття тепла і комфорту, а холодні відтінки можуть допомогти зосередитися і заспокоїтися. [4]

Архітектура має глибокий вплив на наше психологічне сприйняття простору. Від планування та освітлення до матеріалів і акустики – кожен аспект дизайну може сприяти створенню комфортного і стимулюючого середовища. Розуміння цих впливів дозволяє архітекторам проектувати простори, які позитивно впливають на емоційний стан і якість життя людей.

Використання кольору в архітектурі

Колір завжди мав особливе значення як для будівництва окремих будівель, і при створенні цілісного архітектурного образу міст. Використання різних кольорів та фарб було звичайним явищем у народній архітектурі багатьох культур. Як правило, натхнення для вибору кольору стародавні майстри черпали із споглядання предметів навколишньої природи у кожному конкретному регіоні. У минулому люди були вільнішими у виборі кольору, але з появою традиційних поселень свобода певною мірою стала обмежуватися.

Наприклад, у Стародавній Греції архітектори та будівельники не схвалювали використання яскравих кольорів та дотримувалися монохромних схем в оформленні, найпопулярнішими вважались білий та синій кольори, які в деяких регіонах навіть були обов'язковими до застосування.

Сьогодні приклади визначних світових архітектурних шедеврів, а також масове вико-

ристання різноманітних колірних схем при оформленні сучасних будівель змінюють традиційне ставлення до кольору та впливають на наші погляди щодо використання кольорів в архітектурі.

Колірна гама періоду модернізму знайшла своє відображення у сучасному місті з бетону та скла. Використання кольору застосовувалося не тільки для декорування, а й для виділення структури будівлі, розподілу його зовнішнього і внутрішнього обсягу, виділення функціональних зон, створення зрозумілих, закономірних схем руху через простір, а також для надання кожному структурному елементу певної самобутності. [5]

Мексиканський архітектор Луїс Барраган (1902–1988) прославився тим, що почав використовувати традиційні для Мексики яскраві кольори при проектуванні та будівництві будівель (рис. 1), повністю сучасних за структурою та формою. Він розробив низку будівель, у яких особливе значення надається саме кольору. Застосування особливих колірних рішень є основою його архітектурного підходу, що дозволяє створювати простір з неповторною, своєрідною атмосферою. Сам Луїс Барраган називав свою творчість «**емоційною архітектурою**».

Рис. 1. Стайні в Мехіко, Луїс Барраган (1960)

У той час, як архітектори-модерністи використовували кольори лише для підкреслення геометричних композицій своїх будівель, тенденції у світовій архітектурі повернулися до реінтродукції кольору, звільненого від заборон та обмежень модернізму. В даний час будівлі можуть похвалитися різноманітністю кольору, який наноситься не тільки за допомогою фарби на бетон або штукатурку, але й у вигляді кольорового скла та пофарбованих алюмінієвих панелей.

Характерним прикладом цієї тенденції є роботи архітекторів Зауербрух & Хаттон, які виступають за використання кольору в ролі будівельної цегли в зовнішньому вигляді своїх конструкцій. За допомогою Системи натуральних кольорів (NCS) вони створюють будівлі, які мають різноманітний, але ретельно змодельований ряд кольорів та відтінків.

Яскравим прикладом їхньої роботи є Брандхорстський музей (рис. 2) у Мюнхені, фасад якого був зроблений у два шари. Внутрішній шар складається з перфорованого кольорового листового заліза, тоді як на зовнішніх панелях кріпляться 36000 багатобарвних керамічних стрижнів, через що здалеку музей здається пастельного кольору, а поблизу грає веселкою яскравих фарб. Архітектори визнають, що у створенні цього образу їм значною мірою допомогла система NCS.

Роботи Зауербрух & Хаттон є прикладом інноваційної логіки використання кольорових рішень для декорування будівель. Важливо те, що організовані колірні системи роблять незрівнянний внесок у архітектурні конфігурації та зовнішній вигляд будівель. [6]

Емоційна архітектура тісно пов'язана з біометричними технологіями

Нові, експериментальні гіпотези щодо людського досвіду у сформованому середовищі мають потенціал надати процесу проєктування оновлену наукову строгость, що є необхідною для багатьох дослідників. Наразі доступні високорозвинені методи нейрофізіології та нейровізуалізації. Їх поєднання з більш звичними процедурами проєктної діяльності (зокрема, з використанням віртуальної реальності) може сприяти розвитку досліджень

Рис. 2. Музей Брандхорста, Зауербрух & Хаттон, Мюнхен, Баварія (2009)

того, як люди сприймають, уявляють і інтерпретують текстури, кольори, відстані та пропорції – тобто сукупність фізичних, сенсорних і матеріальних властивостей, що визначають приміщення або міський ландшафт.

Архітектура та нейронаука були окремими галузями знань доти, доки не з'явилося усвідомлення того, що людський мозок розвивається в умовах безперервної адаптації до змін навколишнього фізичного простору.

Люди схильні звертати увагу на конкретні об'єкти, уникаючи порожніх і нудних просторів або фасадів. Архітектор Енн Сассман і дизайнер Дженіс М. Уорд використовували сканер райдужної оболонки очей щоб визначити, на яких елементах архітектури ми фокусуємо свою увагу. Визначити емоції, які викликають у людей ті чи інші архітектурні елементи, їм допомогло програмне забезпечення для розпізнавання виразів обличчя.

Біометрична система зчитувала несвідомий рух очей і вираз облич. За допомогою цього експериментального дослідження були отримані цікаві результати. Дослідження показало, що люди схильні ігнорувати порожні і нудні фасади. Як правило, вони приділяють більше уваги деталям будівлі, таким як вікна або двері. Порожня стіна приверне набагато менше уваги, ніж стіна, прикрашена малюнком або іншим елементом. Використовуючи цю біометричну технологію, архітектори зможуть визначити, яким повинен бути дизайн для конкретної людини, а також удосконалити будь-які будівлі, просто зробив необхідні зміни. Ця система дозволить залучити до архітектурних будівель максимальну увагу і побудувати архітектурні творіння що зачаровують. [7]

Біометрія – універсальна технологія. Вона може використовуватися і на стадіях планування та конструювання будівель, і на стадіях будівництва і експлуатації. Біометричні системи контролю доступу забезпечать безпеку і комфорт мешканців будинків, побудованих з урахуванням всіх потреб сучасної людини.

Мета роботи. Дослідити як колір та форма архітектурних елементів впливає на психоемоційний стан людини, та використовувати його при майбутньому проєктуванні просторів з метою сприяння функціонування людини, залежно від контексту та функції простору.

Результати досліджень. Колір в архітектурі є інструментом комунікації між простором і людиною. Вірно підібрана кольорова гама здатна:

– регулювати сприйняття простору (наприклад, світлі тони розширюють, темні – зменшують);

– створювати емоційний настрій;

– знижувати рівень тривожності;

– інтегрувати будівлі в природне або історичне оточення.

Особливо актуальне використання кольору у фасадній архітектурі, де він слугує як засобом акценту, так і гармонізації об'єктів з міським середовищем.

Наприклад:

– Скандинавський підхід: пастельні та приглушені кольори фасадів, що створюють м'яке, комфортне середовище.

– Медіа-фасади: динамічне використання світла і кольору у вечірній архітектурі, що може змінювати атмосферу простору в режимі реального часу.

– Біофільна архітектура: поєднання природних кольорів (зелений, бежевий, коричневий), що сприяють заспокоєнню та зв'язку з природою.

Архітектура фасадів житлових будинків може включати різноманітні елементи які, надають будинкам унікальний вигляд та виражають характер їх мешканців. Разом з тим можна визначити певні атрибути, які використовуються при формуванні архітектури фасадів житлових будинків:

1. Форма та пропорції: Значну увагу слід приділити формі будинку та його пропорціям. Великі площини можуть надати будинку значну масштабність, динаміку та відкритість, а симетричні елементи можуть створити певну монументальність та гармонійний вигляд. Однак дуже протяжні одноманітні будинки будуть сприйматись як агресивне середовище.

2. Матеріали: Вибір і комбінація матеріалів може надати фасаду відповідний характер. Застосування природних матеріалів, таких як камінь, дерево чи цегла, може відтінити природний вигляд будинку, характерний для певного регіону та викликати позитивні емоції відповідно до вимог відеоекології.

3. Вікна та двері: Вікна та двері є важливими елементами фасаду. Вони можуть мати різні форми, рами та оздоблення, що впливає на вигляд будинку. Їх ритм розміщення є суттєвим композиційним елементом фасаду.

4. Колірна палітра: Гармонія кольорів в дизайні будинку – це дуже важливий аспект його архітектури. Колірна палітра фасаду

повинна відрізнятись оригінальністю, гармонією і сучасними естетичними якостями. Кольори можуть створити різний настрій та акцентувати певні деталі.

5. Деталі: Деталі в архітектурі фасаду відіграють різні ролі. Деталями можуть бути конструктивні елементи винесені на фасад, або накладні декоративні елементи. Додавання деталей, таких як карнизи, пілястри, розписи або різьблення, може прикрасити фасад та надати йому більш естетичний вигляд, хоча сучасна архітектура рухається в сторону мінімізації деталей.

6. Балкони та тераси: Для житлових будинків є властивим використання балконів, еркерів, терас чи веранд. Вони роблять будинок більш функціональним та зручним для мешканців і разом з тим значно збагачують пластику фасаду. Сучасна тенденція – використання різних по формі вирішень і асиметричне розташування їх на фасаді.

7. Текстури та рельєфи: Використання текстур та рельєфів на фасаді може додати об'ємності та глибини сприйняття. Використання світлотіні є достатньо сильним композиційним елементом. В цьому напрямку розширює можливість ритм та напрям розташування навісних панелей.

8. Озеленення фасадів: Необхідно розглядати можливість інтегрувати зелені насадження: а саме озеленення площини фасадів, балконні квітники або живоплоти, використання рослин в діжках або горщиках на дахах і терасах, створення експлуатованих «зелених» дахів.

Застосування вищезгаданих архітектурних прийомів при формуванні фасаду повинно враховувати особливості його зорового сприйняття.

Висновки. Тілесне відчуття, яке ми маємо при сприйнятті об'єкта, залежить від того, як він сконструйований. Емоційна архітектура заохочує створення місць, які сприяють соціальній взаємодії, від громадських площ до просторів для спільної роботи, та середовища, яке сприяє людському зв'язку та зменшує відчуття ізоляції. Добре спроектований архітектурний простір може дати нам спокій, радість, здивування, хвилювання, інтерес серед багатьох інших відчуттів та емоцій. Емоційна архітектура є піднесений акт поетичної уяви, який залучає тіло та розум користувача.

Архітектура – це не лише про форми та конструкції, але й про емоції. Колір у цьому контексті стає не просто декоративним елементом, а справжнім інструментом, що формує настрій, впливає на поведінку та сприяє внутрішній гармонії людини. Сучасні архітектори і дизайнери часто співпрацюють з психологами, аби створити середовища, що підтримують психічне здоров'я.

Створення комфортного архітектурного простору, з врахуванням вимог візуальної екології може, до певної міри, пом'якшити негативну дію факторів міського середовища на психологічний стан людини.

Література

1. Muro R. Light and Emotional Architecture: An Embodied Experience Citation R Muro 2024 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1320 012021; DOI 10.1088/1755-1315/1320/1/012021
2. Сайт «PRAGMATIKA.MEDIA». URL: https://pragmatika.media/emotsiina-arkhitektura-5-iaskravykh-proiektiv-luisa-barrahana
3. Костронь Л. Психологія архітектури. Київ : Гуманітарний центр, 2018. 287 с.
4. Де Боттон, А. Архітектура щастя / пер. з англ. Ю. Джугастрянська. Київ : ArtHuss, 2021. 150 с.
5. Вайншенк, С. М. 100 речей, які кожен дизайнер повинен знати про людей / пер. з англ. К. Опрощенко. Київ : ArtHuss, 2024. 195с.
6. Александер, К. Мова шаблонів: Міста, будівлі, будівництво / пер. з англ. М. Климчук. Київ : Основи, 2025. 915 с.
7. Atmospheres: Feeling Architecture by Emotions Canepa, Valter Scelsi, Anna Fassio, Laura Avanzino, Giovanna Lagravinese et Carlo Chiorri https://doi.org/10.4000/ambiances.2907

References

1. R Muro. Light and Emotional Architecture: An Embodied Experience Citation R Muro 2024 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1320 012021; DOI 10.1088/1755-1315/1320/1/012021
2. Emotional Architecture: 5 Striking Projects by Luis Barragán. *PRAGMATIKA.MEDIA*. URL: https://pragmatika.media/emotsiina-arkhitektura-5-iaskravykh-proiektiv-luisa-barrahana (accessed: September 24, 2025).
3. Kostron, L. (2018) Psykholohiia arkhitektury, [Psychology of Architecture] Kyiv : Humanitarian Center, 287 p.
4. De Botton, A. (2021) Arkhitektura shchastia [The Architecture of Happiness] Kyiv : ArtHuss, 2021. 150 p.
5. Weinschenk, S. M. (2024) 100 rechei, yaki kozhen dyzainer povynen znaty pro liudei [100 Things Every Designer Needs to Know About People] Translated from English by K. Oproshchenko. Kyiv : ArtHuss, 195 p.

6. Alexander, C. (2025) Mova shabloniv: Mista, budivli, budivnytstvo [A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction.] Kyiv : Osnovy, 915 p.
7. Atmospheres: Feeling Architecture by Emotions Canepa, Valter Scelsi, Anna Fassio, Laura Avanzino, Giovanna Lagravinese et Carlo Chiorri https://doi.org/10.4000/ambiances.2907

EMOTIONAL ARCHITECTURE AS A SYNTHESIS OF ART, HISTORY AND CONTEMPORARY DESIGN

Abstract. *Architecture not only determines the functionality and aesthetic appearance of buildings, but also has a profound impact on the psychological perception of space. From layout and lighting to materials and acoustics, every aspect of design can contribute to creating a comfortable and stimulating environment. Understanding these influences allows architects to design spaces that positively affect people's emotional state and quality of life.*
The purpose of the study is to identify the features of emotional architecture as a phenomenon that arises at the intersection of art, historical heritage, and modern form-making; to identify the principles and means by which architecture is able to evoke an emotional response in a person, to form a deeper connection with space, and to study the role of cultural context and new architectural approaches in creating an emotionally expressive architectural environment. In the modern world, architecture increasingly transcends utilitarian spatial thinking, evolving into a powerful medium of emotional influence. It does not merely shape the physical environment but actively interacts with an individual's inner world, evoking a response at the level of sensations, memories, and associations. The concept of «emotional architecture» emerges as a response to the need for creating an environment capable of communicating with people through aesthetics, historical codes, and innovative formal practices.
Key words: Emotional architecture, biometric technology, psychology.

Ye. A. Nepochatykh
Associate Professor at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

O. V. Hubanov
Ph.D., Associate Professor at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

V. Ye. Viazovskyi
Senior Lecturer at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

M. H. Melkomukova
Senior Lecturer at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

A. O. Berezhna
Higher Education Student at the Department of Architecture and Design,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

Дата першого надходження статті до видання: 22.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 624.04:69.059.25
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.12

Пастухова С. В.
ст. викладач кафедри промислового та цивільного будівництва,
Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю. М. Потебні, Запорізький національний університет, м. Запоріжжя
ORCID: 0000-0002-0853-5611

Мішук К. М.
к.т.н., доц., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва,
Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю. М. Потебні, Запорізький національний університет, м. Запоріжжя
ORCID: 0000-0001-5480-6032

Кузнєцов В.А.
здобувач вищої освіти кафедри промислового та цивільного будівництва,
Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю. М. Потебні, Запорізький національний університет, м. Запоріжжя
ORCID: 0009-0002-6152-4409

БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ІСНУЮЧОГО БУДИНКУ ЯК ОСНОВА ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ

Анотація. *У роботі наведено результати комплексного технічного обстеження будівельних конструкцій існуючого будівельного об'єкта, що підлягає реконструкції на підставі позитивного висновку будівельно-технічної експертизи. Дослідження було виконано з урахуванням чинних нормативних документів та сучасних підходів щодо надання оцінки технічного стану будівель і споруд. Було проведено детальний аналіз конструктивної схеми об'єкта, виявлено основні дефекти та пошкодження, визначено їх причини та ступінь впливу на несучу здатність і експлуатаційну придатність об'єкта.*

У ході дослідження було розроблено аспекти програми комплексної технічної діагностики, що включає перелік необхідних експертно-перевірних заходів, сучасні методи та методики технічного обстеження, а також рекомендації щодо застосування високоточних вимірювальних приладів і технічних засобів контролю. Зокрема, було використано аспекти візуально-інструментального обстеження, неруйнівні методи контролю, інструментальні обміри та лабораторні випробування зразків матеріалів.

Робота містить матеріали фотофіксації технічного стану конструкцій, результати інструментальних вимірювань та фрагменти протоколів випробувань несучих елементів, що дозволило сформувати об'єктивну оцінку їх фактичного стану. На підставі отриманих даних було визначено категорію технічного стану будівельного об'єкта відповідно до нормативної класифікації.

Було запропоновано інженерно-технічні заходи щодо підсилення, ремонту та/або часткової заміни пошкоджених елементів, зокрема монолітних залізобетонних плит перекриття, із застосуванням сучасних матеріалів і технологій. Було обґрунтовано доцільність реалізації заходів з урахуванням техніко-економічних показників та вимог безпеки.

Також було визначено напрями подальшої реконструкції об'єкта з урахуванням можливості зміни його функціонального призначення, підвищення енергоефективності та адаптації до сучасних експлуатаційних вимог. Отримані результати можуть бути використані при розробці проєктної документації та прийнятті інженерних рішень щодо відновлення та/або модернізації будівельних об'єктів.

Ключові слова: будівельно-технічна експертиза, реконструкція, технічне обстеження будівлі, технічний стан будівлі, посилення конструкцій, зміна функціонального призначення будівлі.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку будівельної індустрії, особливого значення набуває реконструкція існуючого будівельного фонду, оскільки понад 85 % будівель було зведено до 2002 року, що визначає їх високий рівень фізичного зносу та морального старіння (рис. 1) [1].

З огляду на це, такі аспекти як раціональне використання наявних будівельних об'єктів і підвищення їх енергоефективності, експлуатаційної надійності та функціональної придатності вимагають проведення професійного технічного обстеження та будівельно-технічної експертизи.

Тому надання комплексної оцінки технічному стану будівель, що визнані старими та досить зношеними й розробки ефективних рішень щодо їх реконструкції або модернізації з урахуванням сучасних нормативних вимог та технологій є досить актуальним аспектом, особливо при застосуванні в роботі відповідного вимірювального обладнання, сучасних методів діагностики та інструментальних досліджень, що дозволяють підвищити достовірність отриманих даних та обґрунтованість інженерних висновків.

Аналіз останніх досліджень. Такі аспекти, як будівельно-технічна експертиза та реконструкція будівель і споруд досить часто стають предметом досліджень науковців, результати яких висвітлюються в посібниках, монографіях, статтях та інших працях. Серед вітчизняних дослідників можна виділити тих, хто займався питаннями реконструкції, зокрема, Савйовський В. В., який детально висвітлював питання технології та організації будівельних робіт, виконуваних під час реконструкції будівель і споруд [2] та науковці Дарієнко В. В. й інші, які вивчали основні аспекти реконструкції та ремонту будівель і споруд, розглядаючи відносно специфіки їх різних типів (інженерні, житлові, промислові) [3]. Серед тих, хто аналізував аспекти будівельно-технічної експертизи, можна виділити дослідників Корзаченка М. М. та інших, які висвітлювали інформацію про порядок виконання обстеження будівель і споруд, причини виникнення деформацій, фізичний знос і природне старіння конструкцій [4] та Борисенка І. В., який досліджував використання інформаційних продуктів під час виконання робіт будівельно-технічної експертизи [5]. У свою чергу, суміжними питаннями займалися такі науковці, як Молодід О. С., який детально аналізував сучасні підходи обстеження будівель та споруд і досліджував методи відновлення будівельних конструкцій, що були пошкоджені, внаслідок позапроєктних впливів [6] й Авраменко Ю. О. та інші, які проводили аналіз конструктивних заходів з усунення дефектів покриття та порядку виконання ремонту плоских покрівель і загальних засад реконструкції плоских покрівель [7].

Щодо зарубіжних дослідників, то в сфері реконструкції можна виділити працю Гофман М. та Мауру З., у якій розглядалися сучасні технології й інноваційні матеріали, що використовуються при реконструкції будівель та споруд [8] та дослідження Мінх Ван Нгуєн й інших, які виконували аналіз аспектів, що ускладнюють реконструкцію старих житлових будівель, на прикладі в'єтнамських міських районів [9]. Стосовно будівельно-технічної експертизи варто зазначити про статтю дослідників Лазарєвої Н. В. та інших, які висвітлювали принципи інформатизації будівельно-технічної експертизи [10],

Рис. 1. Структура житлового фонду за роком будівництва

роботу науковців Рапінського Я. й інших, які вивчали концепцію, впровадження та оцінку FastFoam – веб-системи інспекції, призначеної для технічної оцінки стану будівель [11] та працю дослідників Бортоліні Р. і Форкада Н., які вивчали систему інспекції будівель для надання оцінки технічних показників існуючих будівель, враховуючи важливість усього об'єкту та взаємозалежність його основних частин [12].

Мета роботи. Виконання технічного обстеження будівельних конструкцій, визначення категорії технічного стану будівельного об'єкта, розробка програми комплексного діагностування та формування рекомендацій щодо посилення та/або часткової заміни конструктивних елементів з подальшою реконструкцією об'єкта та/або можливою зміною його функціонального призначення.

Для досягнення поставленої мети, було визначено **такі завдання**:

– виконати аналіз вихідної документації та умов експлуатації будівлі;

– провести візуальне та інструментальне обстеження технічного стану конструкцій;

– розробити програму комплексного технічного діагностування;

– визначити фактичний технічний стан несучих елементів;

– обґрунтувати заходи щодо посилення конструкцій;

– зазначити про перспективи подальшого використання об'єкта.

Результати досліджень. З огляду того, що одним із основних завдань будівельно-технічної експертизи є визначення технічного стану будівель, споруд та інженерних мереж, причин пошкоджень та руйнувань об'єктів та їх елементів [13], технічне обстеження будівельних об'єктів, що підлягають реконструкції – це важливий етап прийняття інженерних рішень, який дає змогу визначити фактичний стан несучих та огороджувальних конструкцій, виявити дефекти та пошкодження, оцінити рівень безпеки та можливість подальшої експлуатації будівельного об'єкта. Результати проведення такого обстеження є основою для розробки заходів щодо посилення, ремонту, заміни окремих елементів та обґрунтування проєктних рішень з реконструкції.

Будівлі та споруди промислового призначення, що входять до муніципального фонду забудови, на відміну від комерційних об'єктів, як правило, експлуатуються тривалий час і нерідко використовуються до досягнення аварійного стану. Аналіз показує, що понад 40 % промислових будівель в Україні відносяться до фонду будівель з високим рівнем фізичного зносу об'єкту, зокрема, це будівлі зі зниженим рівнем експлуатаційного комфорту та значним зносом конструкцій, що загалом не перевищує 60 % для бетонних та кам'яних будівель, за збереження їх несучої здатності [14, с. 3; 15]. Іншими словами, основні несучі елементи можуть залишатися досить міцними та забезпечувати стійкість об'єкта, однак він не відповідатиме сучасним експлуатаційним вимогам та нормам, при цьому, незважаючи на помітний знос конструкцій, такі будівлі або споруди можна вважати безпечними, але за умови відсутності загрози аварійного обвалення [14; 16].

Як вже було зазначено, будівлі або споруди з високим рівнем фізичного зносу потребують виконання заходів з реконструкції [14]. Проведення робіт з реконструкції будівельних об'єктів, що знаходяться у передаварійному та/або більш аварійному стані, неприпустимо, оскільки вони становлять серйозну небезпеку для здоров'я та життя людей через ймовірність руйнування та або обвалення конструкцій [14; 17].

Відповідно до попередньо зазначеного, науково-дослідницька робота присвячена розробці програми будівельно-технічної експертизи промислового об'єкта з високим рівнем фізичного зносу, що підлягає реконструкції за наявності позитивного експертного висновку та встановленої ІІ категорії обмежено-працездатного технічного стану конструкцій. Відповідно до цього, об'єктом дослідження виступає діючий промисловий склад добрив та сільськогосподарської техніки (рис. 2, А), який наразі не експлуатується та віднесений до фонду зношених об'єктів будівництва, відповідно до чого й плануються заходи з реконструкції з подальшою зміною функціонального призначення під адміністративно-офісну будівлю (рис. 2, Б).

Встановлення категорії технічного стану будівельних конструкцій та будівельного об'єкту загалом, здійснюється в процесі проведення комплексної будівельно-технічної експертизи [14; 17], ключові цілі якої полягають в:

– оцінці технічного стану окремих конструкцій та будівлі загалом;

– збиранні вихідних даних для виконання проєкту посилення конструкцій;

Рис. 2. Промисловий склад: А) До реконструкції; Б) Після реконструкції

– оцінці технічної та економічної можливостей та доцільності проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Загалом, дослідження об'єкта, у рамках будівельно-технічної експертизи, повинно передбачати візуальний огляд усіх будівельних конструкцій, обмірні роботи, інструментальне обстеження, розрахунки та аналіз результатів вимірювань, випробувань із підготовкою висновку експертизи [18]. З огляду цього, технічне обстеження об'єкту повинно проводитися згідно з вимогами та рекомендаціями ДСТУ 9273:2024 на окремі конструкції, зокрема [17; 19]:

– візуальний огляд усіх колон, плит перекриттів, балок та ригелів, стінових панелей для виявлення дефектів та пошкоджень, їх фотофіксація та виконання креслень (схем) з їх розташуванням;

– обмірні роботи «загальні» та «за конструкціями» (плити перекриттів, колони, балки та інші;

– визначення фактичного прогину плит перекриття, балок, ригелів тощо (рис. 3);

– визначення міцності бетону колон та несучих стін неруйнівними методами контролю;

– визначення параметрів армування обстежуваних конструкцій неруйнівними методами контролю та методом розтину;

– збирання навантажень та виконання перевірних розрахунків обстежуваних конструкцій;

– аналіз результатів обстеження, оцінка технічного стану конструкцій;

– складання Звіту з висновками та рекомендаціями.

Для забезпечення оперативності та високої якості результатів робіт з будівельно-технічної експертизи при проведенні обстеження будівельного об'єкта необхідно використовувати сучасне обладнання та інструменти, що характеризуються відповідною метрологічною надійністю [20].

При цьому, будівельно-технічна експертиза має проводитися згідно стандартизованих методик, зокрема:

– визначення рівномірності осідання будівлі геометричним нівелюванням III класу

Рис. 3. Проведення попереднього огляду об'єкта з визначенням зон найбільшого зносу та пошкоджень (прогину плит перекриття, балок, ригелів)

точності, відповідно до «Інструкції з нівелювання I, II, III та IV класів»;

– георадарне обстеження контрольних ділянок основи на предмет розущільнення ґрунту та ознак її осідання;

– визначення фактичної величини прогинів плит перекриттів з використанням геодезичних методів нівелювання;

– визначення фактичної міцності бетону методом «відриву зі сколюванням» за ДСТУ Б В.2.6-156:2010 та ультразвуковим контролем міцності бетону за ДСТУ 9208:2022.

Отримані результати інструментального обстеження використовують у перевірних розрахунках конструкцій з урахуванням фактичної міцності бетону, параметрів армування, виявлених дефектів і запланованих навантажень [21].

Відповідно до аналізу об'єкту (рис. 2), в результаті візуального огляду було виявлено дефекти монолітних залізобетонних плит перекриттів (рис. 4, А; Б).

При обмірних роботах було встановлено, що тріщини в розтягнутій зоні плит (нижній площині) мають максимальні значення ширини розкриття в 0,5 мм і наднормативні прогини. В свою чергу, тріщини по верхній поверхні плит мають ширину розкриття до 1,0 мм та розташовані по периметру вздовж сталевих опорних балок. Було встановлено, що фактичні прогини перевищують допустимі нормативні значення: 1/200 прольоту – 30 мм для прольотів 6,0 м-кроку. В результаті обстеження за характером руйнування було припущено, що наднормативний прогин окремих плит виник у результаті фізичного зношування, негативного впливу силових статичних та динамічних навантажень, порушення умов експлуатації конструкцій. З урахуванням результатів візуального обстеження було визначено 2 етапи детальної інструментальної експертизи:

1. оцінка параметрів армування (діаметр арматури, товщина захисного шару бетону, відповідність положення арматурних елементів проєкту);

2. визначення міцності бетону конструкцій комплексним методом.

Комплексний метод оцінки міцності бетону в конструкціях, як уже зазначалося раніше, включав два взаємодоповнюючі методи: «відрив зі сколюванням» за ДСТУ Б В.2.6-156:2010 та ультразвуковий контроль за ДСТУ 9208:2022. Для оцінки міцності бетону методом «відриву зі сколюванням» використовувався прилад «ОНІКС-ОС». Число та розташування контрольованих ділянок у конструкціях було прийнято відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Випробування було проведено відповідно до вимог ДСТУ

Рисунок 4. Дефекти монолітних залізобетонних плит перекриття: А) механічне руйнування бетону плит з оголенням арматури у місцях прокладання комунікацій; Б) тріщини

Б В.2.6-156:2010 та посібника з експлуатації приладу «ОНІКС-ОС» наступним чином:

– на вибраній ділянці зроблено вибурювання отвору, який було очищено від пилу та бетонної крихти;

– анкерний пристрій був встановлений та зафіксований у підготовленому отворі (використаний анкерний пристрій II типу діаметром 24 мм, глибиною закладення 48 мм);

– гідравлічний прес був встановлений у робочому положенні;

– було виконано додаток навантаження до анкерного пристрою до моменту відриву фрагмента бетону від конструкції;

– за отриманими показниками приладу, було зафіксовано значення межі міцності під час стиснення бетону на контрольованій ділянці конструкції.

Розрахунок фактичного класу бетону залізобетонних конструкцій, був зроблений на підставі статистичної оцінки результатів визначення міцності бетону, отриманих при випробуванні методами, що не руйнують, відповідно ДСТУ Б В.2.7-224:2009.

Розрахунок фактичного класу бетону [B_φ] був виконаний за формулою 1:

$$B_\varphi = 0{,}8 \cdot R_m, \quad (1)$$

де [R_m] – фактична міцність бетону окремої конструкції, [МПа]

Результати випробувань бетону в конструкціях наведені в Таблиці 1.

Результати випробувань бетону в конструкціях дозволили встановити фактичну міцність бетону при стисканні плит, що відповідає класу В20.

Для оцінки несучої здатності плит перекриття були виконані перевірні розрахунки конструкцій з урахуванням фактичної міцності бетону та параметрів армування плит, виявлених дефектів та запланованих навантажень.

За результатами будівельно-технічної експертизи було зроблено такі висновки:

– геометричні розміри та параметри армування плит відповідають проєкту. Товщина захисного шару бетону складає 18–22 мм;

– фактична міцність бетону при стисканні відповідає класу В20;

– при обстеженні конструкцій плит було виявлено відхилення та дефекти, що впливають на несучу здатність та експлуатаційну надійність конструкцій, зокрема: наднормативні прогини (40–80 мм); тріщини по нижній та верхній площині плит із шириною розкриття 0,5–1,0 мм; механічне руйнування бетону з оголенням арматури у місцях прокладання комунікацій;

– перевірним розрахунком було виявлено дефіцит несучої здатності.

Висновки. Підсумовуючи, варто зазначити, що методика цього дослідження передбачала поетапне виконання робіт:

Таблиця 1. Результати випробувань бетону в конструкціях

№ п/п	Найменування конструкції	Міцність бетону, [МПа]	Фактична середня міцність бетону [R_m], [МПа]	Розрахункове значення фактичного класу бетону	Клас бетону за ДСТУ Б В.2.6-2:2009
1	Монолітна залізобетонна плита на відм. +3.300	25,6	26,2	20,9	В20
2		23,5			
3		25,6			
4		27,9			
5		28,3			
6		26,1			
7	Монолітна залізобетонна плита на відм. +6.600	27,3	21,7	27,1	В20
8		26,4			
9		26,8			
10		25,8			
11		29,1			
12		27,1			

1. збір та аналіз вихідних даних щодо проєктних рішень, умов експлуатації та попередніх ремонтних робіт будівлі;

2. проведення попереднього огляду об'єкта з визначенням зон найбільшого зносу та пошкоджень;

3. виконання детального технічного обстеження несучих й огороджувальних конструкцій;

4. проведення інструментальних вимірювань і застосування методів неруйнівного контролю матеріалів;

5. проведення випробування окремих конструктивних елементів для визначення їх фактичної міцності та працездатності;

6. обробка результатів досліджень і визначення категорії технічного стану будівлі;

7. розробка рекомендацій підсилення, ремонту та часткової заміни конструкцій.

Загалом, проведений аналіз технічного стану промислової будівлі показав, що вона належить до фонду об'єктів з високим рівнем фізичного зносу. Основні несучі конструкції, відповідно до дослідження, зберегли свою відповідні показники міцності та стійкості, але експлуатаційні характеристики, на період проведення дослідження, не відповідають сучасним нормативним вимогам.

Було встановлено, що об'єкт знаходиться у II категорії обмеженої працездатності конструкцій, що визначає необхідність проведення реконструкції з метою підвищення надійності та безпеки експлуатації.

Було розроблено програму комплексного технічного діагностування, яке включає методи та методики обстеження, перелік експертно-перевірних заходів та рекомендації щодо використання сучасних технічних засобів вимірювань і контролю.

На підставі результатів обстеження, були сформульовані технічні рішення щодо підсилення та часткової заміни конструкцій монолітних залізобетонних плит перекриття, що дозволить продовжити строк служби об'єкта та дасть змогу забезпечити безпечну експлуатацію після реконструкції.

Були обґрунтовані перспективи реконструкції об'єкта з подальшою зміною функціонального призначення, зокрема, із промислового складу в адміністративно-офісну будівлю, що дозволяє раціонально використати наявні геометричні габарити об'єкта та підвищити його експлуатаційну цінність.

Відповідно до цього, варто зазначити, що практична значущість роботи полягає у можливості застосування розроблених рекомендацій під час проєктування реконструкції, організації ремонтно-відновлювальних робіт та забезпеченні ефективної експлуатації будівлі після її реконструкції.

Література

1. Українська асоціація девелоперів. *Українська асоціація девелоперів* : веб-сайт. URL: https://ua-developers.com.ua/posts/energoefektivnist-budivel-v-ukrayini-85-zhitlovogo-fondu-potrebuie-modernizaciyi
2. Савйовський В. В. Реконструкція будівель і споруд : навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2019. 320 с.
3. Реконструкція та ремонт будівель і споруд : навч. посіб. / Дарієнко В. В. та ін. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. 159 с. Обстеження, випробування та експлуатація будівель і споруд : навч. посіб. / Корзаченко М. М. та ін. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. 110 с.
4. Борисенко І. В. Інформаційна система підтримки будівельно-технічної експертизи : дис. ... док. філос. : 126. Київ, 2025. 155 с.
5. Молодід О.С. Методи відновлення будівельних конструкцій, пошкоджених унаслідок позапроєктних впливів : монографія. Київ : Видавництво Ліра-К, 2025. 156 с.
6. Утеплення, ремонт та реконструкція плоских покрівель цивільних будівель : посіб. / Авраменко Ю. О. та ін. ; за ред. Семко О. В. Полтава : ПП «Астрая», 2017. 238 с.
7. Gofman M. and Mauru Z. Innovative Technologies Used in the Reconstruction of Buildings and Structures. *Bulletin of Science and Practice*. 2020. Vol. 6. № 5. P. 276-279. DOI: 10.33619/2414-2948/54/34 (дата звернення: 12.03.2026).
8. Minh Van Nguyen, Khanh Duy Ha and Chien Thanh Phan. What makes the reconstruction of old residential buildings complex? A study in Vietnamese urban areas. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2025. Vol. 32. № 10. P. 7086–7110. URL: https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2024-0300
9. Lazareva N. V., Zinoviev A. Y. and Kochenkova E. M. Principles of construction technical expertise (expert examination) informatization. *Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 1015. № 1. P. 1-6. DOI: 10.1088/1757-899X/1015/1/012079
10. Rapiński J. et al. Digital Transformation of building inspections: a function-oriented and predictive approach using the fastfoam system. *Infrastructures*. 2025. Vol. 10. № 11. P. 310. URL: https://doi.org/10.3390/infrastructures10110310.
11. Bortolini R. and Forcada N. Building inspection system for evaluating the technical performance of existing buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2018. Vol. 32. № 5. P. 1-23. URL: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001220
12. Будівельно-технічна експертиза. *Головна | Київський науково-дослідний інститут судових експертиз* : веб-сайт. URL: https://kndise.gov.ua/expertise/construction-and-technical-examination

13. СОУ ЖКГ 75.11-35077234.0015:2009. Правила визначення фізичного зносу житлових будинків. [На заміну ВСН 53-86(р); чинний 2009-02-03]. Вид. офіц. Київ : ЖКГ України, 2009. 46 с. (Житлові будинки).
14. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1. [На заміну СНиП 2.03.01-84*; чинний 2020-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2020. 68 с.
15. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проєктної документації на будівництво. Зі Змінами № 1, № 2 та Поправкою до Зміни № 2. [На заміну ДБН А.2.2-3-2012; чинний 2022-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2022. 33 с.
16. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. [На заміну ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016; чинний 2024-09-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024. 74 с.
17. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огороджувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [На заміну ДБН В.3.1-1-2002; чинний 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 66 с.
18. Застосування неруйнівних методів дослідження: методика / Донецький НДІСЕ Міністерства юстиції України. Донецьк, 2007. (Реєстраційний код 10.6.13).
19. Про затвердження Інструкції про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень та Науково-методичних рекомендацій з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень : Наказ М-ва юстиції України від 08.10.1998 № 53/5 : станом на 30 жовт. 2024 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0705-98#Text
20. Методичні рекомендації з визначення фізичного зносу нежитлових будівель: звіт про НДР IV.3.3-2014/2 / керівник О. І. Буратевич. Київ, 2015

References

1. Ukrainska asotsiatsiia developeriv. [Ukrainian Association of Developers]. *Ukrainska asotsiatsiia developeriv* : veb-sait – *Ukrainian Association of Developers* : website. URL: https://www.ua-developers.com.ua/posts/energoefektivnist-budivel-v-ukrayini-85-zhitlovogo-fondu-potrebuie-modernizaciyi [in Ukrainian].
2. Saviovskyi, V. V. (2019). Rekonstruktsiia budivel i sporud : navch. posib. [Reconstruction of buildings and structures]. Kyiv : Vydavnytstvo Lira-K. 320 s. [in Ukrainian].
3. Dariienko, V. V. ta in. (2023). Rekonstruktsiia ta remont budivel i sporud : navch. posib. [Reconstruction and repair of buildings and structures]. Kropyvnytskyi : TsNTU. 159 s. [in Ukrainian].
4. Korzachenko, M. M. ta in. (2021). Obstezhennia, vyprobuvannia ta ekspluatatsiia budivel i sporud : navch. posib. [Inspection, testing and operation of buildings and structures]. Chernihiv : NU "Chernihivska politekhnika". 110 s. [in Ukrainian].
5. Borysenko, I. V. (2025). Informatsiina systema pidtrymky budivelno-tekhnichnoi ekspertyzy. [Information system to support construction and technical expertise]: (Doctoral dissertation). Kyiv. 155 s. [in Ukrainian].
6. Molodid, O. S. (2025). Metody vidnovlennia budivelnykh konstruktsii, poshkodzhenykh unaslidok pozaproiektnykh vplyviv : monohrafiia. [Methods of restoring building structures damaged due to off-design impacts]. Kyiv : Vydavnytstvo Lira-K. 156 s. [in Ukrainian].
7. Avramenko, Yu. O. ta in. (2017). Uteplennia, remont ta rekonstruktsiia ploskykh pokrivel tsyvilnykh budivel : posib. [Insulation, repair and reconstruction of flat roofs of civil buildings]. Poltava : PP "Astraia". 238 s. [in Ukrainian].
8. Gofman, M., & Mauru, Z. (2020). Innovative Technologies Used in the Reconstruction of Buildings and Structures. *Bulletin of Science and Practice*, 6(5), 276-279. DOI: 10.33619/2414-2948/54/34.
9. Minh, V. N., Khanh, D. H., & Chien, T. P. (2025) What makes the reconstruction of old residential buildings complex? A study in Vietnamese urban areas. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 32(10), 7086–7110. URL: https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2024-0300
10. Lazareva, N. V., Zinoviev, A. Y., & Kochenkova, E. M. (2020). Principles of construction technical expertise (expert examination) informatization. *Materials Science and Engineering*, 1015(1), 1-6. DOI: 10.1088/1757-899X/1015/1/012079
11. Rapiński, J., et al. (2025). Digital Transformation of building inspections: a function-oriented and predictive approach using the fastfoam system. *Infrastructures*, 10(11), 310. URL: https://doi.org/10.3390/infrastructures10110310
12. Bortolini, R., & Forcada, N. (2018). Building inspection system for evaluating the technical performance of existing buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32(5), 1–23. URL: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001220
13. Budivelno-tekhnichna ekspertyza. [Construction and technical expertise]. *Holovna | Kyivskyi naukovo-doslidnyi instytut sudovykh ekspertyz* : veb-sait – *Home | Kyiv Research Institute of Forensic Expertise* : website. URL: https://kndise.gov.ua/expertise/construction-and-technical-examination [in Ukrainian].
14. Pravyla vyznachennia fizychnoho znosu zhytlovykh budynkiv: SOU ZhKH 75.11-35077234.0015:2009. (2009). [Rules for determining the physical wear and tear of residential buildings: SOU ZhKG 75.11-35077234.0015:2009]. Vyd. ofits. Kyiv : ZhKH Ukrainy. 46 s. (Zhytlovi budynky). [in Ukrainian].
15. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. Zi Zminoiu № 1: DBN V.2.6-98:2009. (2020). [Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. With Amendment No. 1: DBN V.2.6-98:2009]. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy. 68 s. [in Ukrainian].
16. Sklad ta zmist proiektnoi dokumentatsii na budivnytstvo. Zi Zminamy № 1, № 2 ta Popravkoiu do Zminy № 2: DBN A.2.2-3:2014. (2022). [Composition and content of design documentation for construction. With Amendments No. 1, No. 2 and Amendment to Amendment No. 2: DBN A.2.2-3:2014]. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy. 33 s. [in Ukrainian].

17. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichnyi opir ta stiikist: DSTU 9273:2024. (2024). [Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Mechanical resistance and stability: DSTU 9273:2024]. Vyd. ofits. Kyiv : DP "UkrNDNTs". 74 s. [in Ukrainian].
18. Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhuvalnykh budivelnykh konstruktsii ta osnov budivel i sporud: DSTU B V.3.1-2:2016. (2017). [Repair and strengthening of load-bearing and enclosing building structures and foundations of buildings and structures: DSTU B V.3.1-2:2016]. Vyd. ofits. Kyiv : DP "UkrNDNTs". 66 s. [in Ukrainian].
19. Zastosuvannia neruinivnykh metodiv doslidzhennia: metodyka. (2007). [Application of non-destructive testing methods]. Donetskyi NDISE Ministerstva yustytsii Ukrainy. Donetsk. (Reiestratsiinyi kod 10.6.13). [in Ukrainian].
20. Pro zatverdzhennia Instruktsii pro pryznachennia ta provedennia sudovykh ekspertyz ta ekspertnykh doslidzhen ta Naukovo-metodychnykh rekomendatsii z pytan pidhotovky ta pryznachennia sudovykh ekspertyz ta ekspertnykh doslidzhen : Nakaz M-va yustytsii Ukrainy vid 08.10.1998 № 53/5 : stanom na 30 zhovt. 2024 r. (2024). [On approval of the Instructions on the appointment and conduct of forensic examinations and expert studies and Scientific and methodological recommendations on the preparation and appointment of forensic examinations and expert studies: Order of the Ministry of Justice of Ukraine dated 08.10.1998 No. 53/5: as of Oct. 30, 2024]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0705-98#Text [in Ukrainian].
21. Buratevych, O. I. (2015). Metodychni rekomendatsii z vyznachennia fizychnoho znosu nezhytlovykh budivel: zvit pro NDR IV.3.3-2014/2. [Methodological recommendations for determining the physical deterioration of non-residential buildings: report on the research project IV.3.3-2014/2]. Kyiv. [in Ukrainian].

CONSTRUCTION AND TECHNICAL EXPERTISE OF THE EXISTING BUILDING AS A BASIS FOR FURTHER RECONSTRUCTION

Abstract. *The paper presents the results of a comprehensive technical inspection of building structures of an existing building object subject to reconstruction based on a positive conclusion of a construction and technical examination. The study was carried out taking into account current regulatory documents and modern approaches to assessing the technical condition of buildings and structures. A detailed analysis of the structural scheme of the object was carried out, the main defects and damage were identified, their causes and the degree of impact on the load-bearing capacity and operational suitability of the object were determined.*

During the study, aspects of a comprehensive technical diagnostics program were developed, including a list of necessary expert verification measures, modern methods and techniques of technical examination, as well as recommendations for the use of high-precision measuring instruments and technical means of control. In particular, aspects of visual and instrumental inspection, non-destructive testing methods, instrumental measurements and laboratory testing of material samples were used.

The work contains materials of photo fixation of the technical condition of structures, results of instrumental measurements and fragments of test protocols of load-bearing elements, which allowed to form an objective assessment of their actual condition. Based on the data obtained, the category of the technical condition of the construction object was determined in accordance with the regulatory classification.

Engineering and technical measures were proposed to strengthen, repair and/or partially replace damaged elements, in particular monolithic reinforced concrete floor slabs, using modern materials and technologies. The feasibility of implementing measures was substantiated taking into account technical and economic indicators and safety requirements.

Directions for further reconstruction of the object were also determined, taking into account the possibility of changing its functional purpose, increasing energy efficiency and adapting to modern operational requirements. The results obtained can be used in the development of project documentation and making engineering decisions on the restoration and/or modernization of construction objects.

Key words: construction and technical expertise, reconstruction, technical inspection of the building, technical condition of the building, reinforcement of structures, change of functional purpose of the building.

S. V. Pastukhova
Senior Lecturer at the Department of Industrial and Civil Engineering,
Y. M. Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute, Zaporizhzhia National University,
Zaporizhzhia

K. M. Mishuk
Ph.D., Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Industrial and Civil Engineering,
Y. M. Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute Zaporizhzhia National University,
Zaporizhzhia

V. A. Kuznietsov
Graduate student at the Department of Industrial and Civil Engineering,
Y. M. Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute Zaporizhzhia National University,
Zaporizhzhia

Дата першого надходження статті до видання: 21.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

UDC 697.1:725.51:620.92(477.74)
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.13

Posternak S. O.
Ph.D., Associate Professor, Certified energy auditor of buildings and processes, Odesa
ORCID: 0000-0003-0890-4963

Posternak I. M.
Ph.D., Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Organization of construction and labor protection,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa
ORCID: 0000-0002-5274-8892

Posternak O. S.
Student,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa
ORCID: 0000-0002-4568-9943

ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY BUILDINGS OF HEALTH CARE INSTITUTIONS OF THE CITY OF ODESA CERTIFIED IN 2025

Abstract. *The purpose of the study is to assess the state of energy efficiency of health care facilities and classify recommended measures for modernization and increasing the level of energy efficiency. A statistical analysis of 17 energy certificates of buildings of health care facilities in the city of Odesa, entered into the register of USESFC in 2025, was performed. Quantitative and percentage processing of data on energy efficiency classes, periods of operation and surface area of buildings was carried out with the help of a Microsoft Excel spreadsheet. The study revealed the unsatisfactory condition of the enclosing structures, in particular, the indicators of the heat transfer resistance of the walls, ceilings and coatings are only 20.3...41.2 % of the normatively permissible. The structure of actual annual energy consumption was established: heating (51 %), hot water supply (27 %), lighting (11 %), cooling (8 %), ventilation (3 %). The analysis of the specific consumption of primary energy and emissions of greenhouse gases confirms the low energy independence of the fund, the excess of the specific consumption of primary energy over the specific energy consumption is 27.3 %. Significant exceeding of the limit levels of energy consumption during heating and cooling by 3 times of the limit value was revealed. A classification of recommended measures for modernization and improvement of the level of energy efficiency will be given. We see prospects in the need for a systematic transition to the nZEB and ZEB standards, the introduction of individual heat points and online monitoring.*
Key words: buildings of medical institutions, information on energy consumption of buildings, energy certification, energy efficiency, primary energy.

Statement of the problem. Over the past five years, the construction sector has undergone a fundamental paradigmatic transformation, transforming from a passive consumer of resources to an active element of an intelligent energy system. Global challenges caused by climate change, energy crisis and geopolitical instability, especially in the context of military aggression against Ukraine, forced the scientific and engineering community to rethink approaches to thermal modernization and building management [1]. In the period from 2020 to 2025, the emphasis shifted from simple insulation measures to comprehensive digitalization and consideration of the carbon footprint throughout the entire life cycle of the facility, which is reflected in the updated directives of the European Union and national recovery strategies of Ukraine [2]. The construction industry significantly affects global warming, but the lack of accurate data inhibits the implementation of effective countermeasures [3]. The main share of energy consumption is accounted for by heating and climate systems (HVAC). To improve the situation, it is necessary

to stimulate energy-efficient modernization, develop «green» electricity and ensure international support for the introduction of construction technologies that do not harm the environment.

Analysis of the latest research. In Ukraine, the reform of the health care system continues, the main goal of which is to provide citizens of Ukraine with equal access to quality medical services, as a result of changes in the orientation of the system so that the patient is at the center of it [4]. The design and construction of health care facilities should be carried out on the basis of an analysis of the demand for medical services for the population of the relevant territorial community, on the territory of which the construction/reconstruction of health care facilities is planned [4].

The article [5] examines the classifications of medical institutions in Ukraine and in foreign countries, emphasizes the dependence of the design of the architectural and planning organization of health care institutions on the purpose, scope of application and type of medical institution.

The study [6] justified the new requirements for the infrastructure and management of a health care institution in the conditions of martial law and the post-war period in order to ensure its following properties: safety, adaptability and sustainability. It was established that the process of post-war reconstruction of the health care system should guarantee a new vision of the activities of health care institutions. Accordingly, a set of tools that should ensure physical (power), information, food and energy security of a health care facility is defined.

The conducted study [7] of the basic principles of architectural planning of medical institutions allows us to single out three main mandatory principles of designing health care institutions: flexibility, integration and inclusiveness. The specified principles reflect modern trends in the development of medicine (adaptability to transformations, patient orientation, comprehensiveness in the provision of medical services) and ensure the effectiveness of the future functioning of a medical institution designed with a specific consideration in mind. At the same time, each project is an independent and unique architectural solution of a health care facility building.

Modern design and construction solutions often combine residential and non-residential premises in one building volume, harmonizing their joint functioning with non-standard solutions for typical construction. The authors of the article [8] note that the shortage of land plots for the construction of dispensaries in a separate building leads to the fact that built-in health care facilities have become widespread and are located mainly in non-residential premises of residential buildings (1st, 2nd and basement floors), which is an element of hybrid construction.

Today, energy certification of buildings is not just a technical procedure for evaluating enclosing structures or engineering systems, but a central element of a global strategy for decarbonization and ensuring energy independence. In a world where the building sector is responsible for 40 % of total energy consumption and 36 % of energy-related greenhouse gas emissions, the transformation of the existing stock and the transition to zero emissions become an existential issue for modern civilization [9, 10].

Basic information on the state of energy efficiency of buildings in the EU is contained in EPC certificates [10]. The creation of such certificates is always a compromise between the cost of verification and the accuracy of the results. If it is impossible to get accurate data about the walls or roof without significant costs, experts use standard government indicators.

According to clause 17.1 [11], health care facilities must be designed, built and equipped in such a way as to ensure the rational use of energy resources, the durability of enclosing structures during operation and the fulfillment of the main requirement for energy saving and energy efficiency.

According to clause 17.3 [11], health care buildings during new construction should be designed with an energy efficiency class not lower than that established in the order [12]. According to clause 3.4 of the appendix to the order [12], the limit value of the specific energy consumption of buildings of health care facilities for heating and cooling (EP_p), for the temperature zone of Ukraine: I – EP_p = 30 kWh/m^3; II – EP_p = 26 kWh/m^3.

According to clause 17.2 [11], the design of health care facilities in terms of energy efficiency indicators of buildings, heat technical indicators of enclosing structures (thermal insulation shell) is carried out in accordance with BC B.2.6-31:2021 [13].

The purpose of the work. Assessment of the state of energy efficiency of buildings of health

care institutions in the city of Odesa certified in 2025 and development of recommended measures to modernize and increase the level of energy efficiency of these buildings.

Research methodology. Ensuring the transparency of certification processes in Ukraine is implemented through the operation of the Unified State Electronic System in the Field of Construction (USESFC). This nationwide information platform is aimed at streamlining construction activities and leveling corruption factors by ensuring maximum publicity of data. The functionality of the USESFC covers the entire life cycle of the construction object: from the stage of obtaining town planning conditions and restrictions to the moment of commissioning. It is assumed that the consolidation and standardization of information from differentiated sources will be achieved through the generation of basic documentation directly within the System by relevant entities.

The Public Portal of the Unified System is its open component, which aims to provide unimpeded and free access to verified information for all categories of users. At the current stage of development, the Portal offers tools for precise data search with the possibility of their spatial visualization on a digital map, as well as basic modules for analytical processing. In addition, the platform offers online services adapted to the needs of both professional and novice users. The expansion of the Portal's functionality takes place iteratively, in accordance with the pace of modernization of the USESFC.

According to the regulatory requirements, from December 1, 2020, energy auditors are required to register the issued energy certificates in the specified system. This ensures the formation of a unified database of energy efficiency indicators of buildings at the state level.

An important detail is that the certificate is an extract from an energy audit report and is valid for 10 years. The certificate shows the energy efficiency class, construction information, geometric characteristics, description of engineering systems and, most importantly for existing buildings, recommendations for improving efficiency, which must be technically and economically justified.

The technical foundation of certification is provided by the norms of BC B.2.6-31:2021 "Thermal insulation and energy efficiency of buildings" [13], which came into force in September 2022. These norms significantly strengthened the requirements for heat transfer resistance of enclosing structures compared to the previous edition of 2016.

The standard DSTU 9190:2022 «Energy efficiency of buildings. The method of calculating energy consumption during heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply» [14], which is based on ISO 52000 modular standards. The calculation is made taking into account the climatic zones of Ukraine (I zone – north and center, II zone – south) and is based on the energy balance of the building.

Classification is carried out by comparing the calculated values of specific energy consumption with the limit values established in BC B.2.6-31:2021 [13]. The class scale is visualized in the certificate similarly to the European model. Today, Class C is considered the minimum acceptable for new buildings, while the move to nZEB will effectively require projects to comply with Class A or B.

Research results. Within the framework of the study, 17 Energy Certificates of buildings of health care institutions of the city of Odesa certified in 2025 were analyzed with the help of the USESFC [15]. Microsoft Excel spreadsheet was used for statistical data processing. On the basis of the obtained arrays of information, diagrams illustrating the nature of correlations and functional dependencies between the key parameters of the studied objects were constructed.

For the informativeness of the research, three-dimensional sector diagrams are provided based on the data of 17 energy certificates of buildings of health care institutions in the city of Odesa certified in 2025: classes of energy efficiency (Figure 1), periods of the start of operation (Figure 2) and number of floors (Figure 3), which shows the contribution of each value to the total amount in volume by quantitative and percentage ratio.

The analysis of the reduced heat transfer resistance of the enclosing structures according to their type (Figure 4) shows that the state of energy efficiency of these structures is unsatisfactory (according to the percentage ratio of the actual average to the minimum permissible values determined by the results of certification): external walls (39.7 %), combined coverings (41.2 %), covering of heated attics or technical floors (30.7 %), attic floors of unheated attics (26.9 %), ceilings over unheated basements (20.3 %), translucent structures (74.3 %), external doors (85 %).

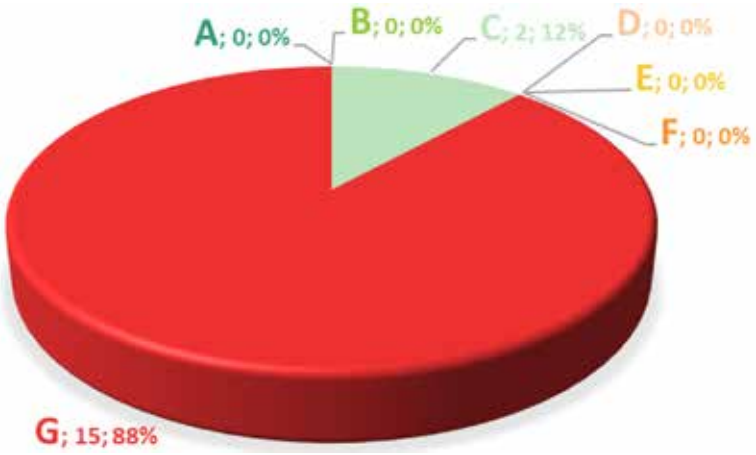


Fig. 1. Volumetric sector diagram of energy efficiency classes (A, B, C, D, E, F, G) of buildings of health care institutions of the city of Odesa certified in 2025: quantitative value (pcs) and percentage ratio

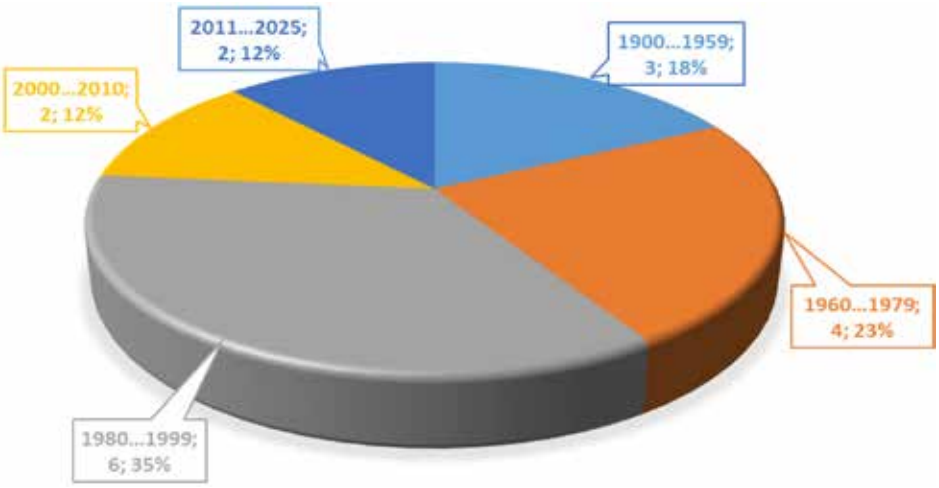


Fig. 2. Volumetric sector diagram of the periods of the start of operation (1900...2025) of buildings of health care institutions of the city of Odesa certified in 2025: quantitative value (pieces) and percentage ratio

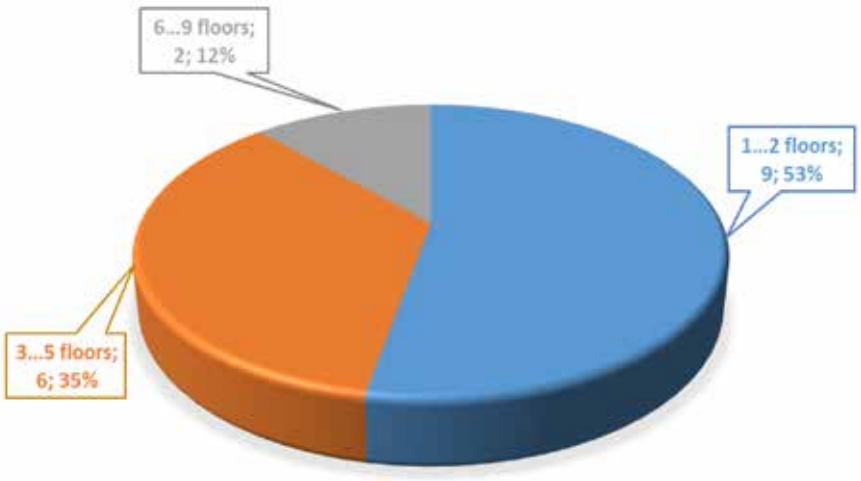


Fig. 3. Volumetric sector diagram of the number of floors (1...9 floors) of buildings of health care institutions in the city of Odesa certified in 2025 (by three groups): quantitative value (units) and percentage ratio

The analysis of the annual energy consumption of buildings of health care institutions in the city of Odesa certified in 2025 (Figure 5) shows the state of the actual energy consumption of these buildings (according to the average value of the quantitative and percentage ratio determined by the certification results): energy consumption during heating (63.2 kWh/m^3; 51 %), energy consumption during cooling (10.2 kWh/m^3; 8 %), energy consumption for hot water supply (33.8 kWh/m^3; 27 %), energy consumption for ventilation (3.8 kWh/m^3; 3 %), energy consumption for lighting (13.9 kWh/m^3; 11 %).

The analysis of the annual energy efficiency indicators of the buildings of health care institutions of the city of Odesa certified in 2025 (table 1 and figure 6) shows the state of the actual level of energy efficiency of these buildings (according to the average value of the quantitative indicators determined by the results of certification): specific energy consumption (61.83 kWh/m^3), specific energy consumption for heating and cooling (78.71 kWh/m^3), specific primary energy consumption (252.13 kWh/m^3), specific greenhouse gas emissions (112.63 kg/m^2). It should be noted that the excess of the specific

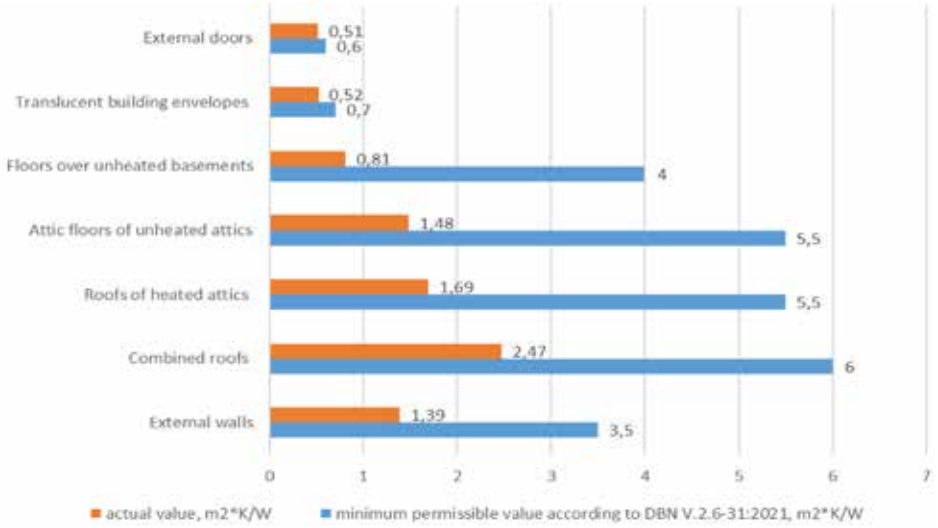


Fig. 4. Linear histogram of the comparison of the averaged value of the reduced heat transfer resistance of the enclosing structure of buildings of health care institutions of the city of Odesa certified in 2025: actual and minimum permissible value

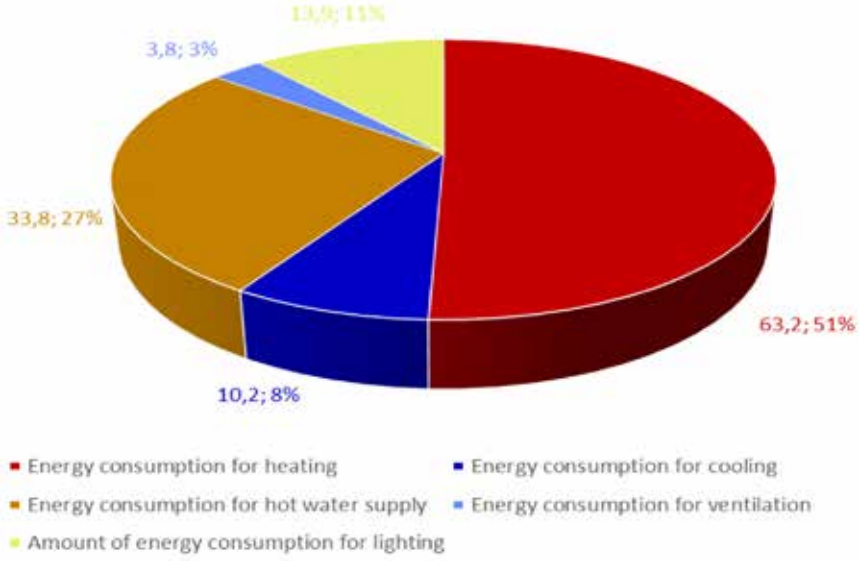


Fig. 5. Volumetric pie chart of the average annual energy consumption of buildings of health care institutions in the city of Odesa certified in 2025: quantitative value (kWh/m^3) and percentage ratio

Table 1. Annual average indicators of energy efficiency of buildings of health care institutions of the city of Odesa certified in 2025

The name of the indicator energy efficiency	Determined by the results of certification	Borderline value [12]
Specific energy consumption, kWh/m^3	61,83	not established
Specific energy consumption during heating and cooling, kWh/m^3	78,71	26
Specific consumption of primary energy, kWh/m^3	252,13	not established
Specific emissions of greenhouse gases, kg/m^2	112,63	not established

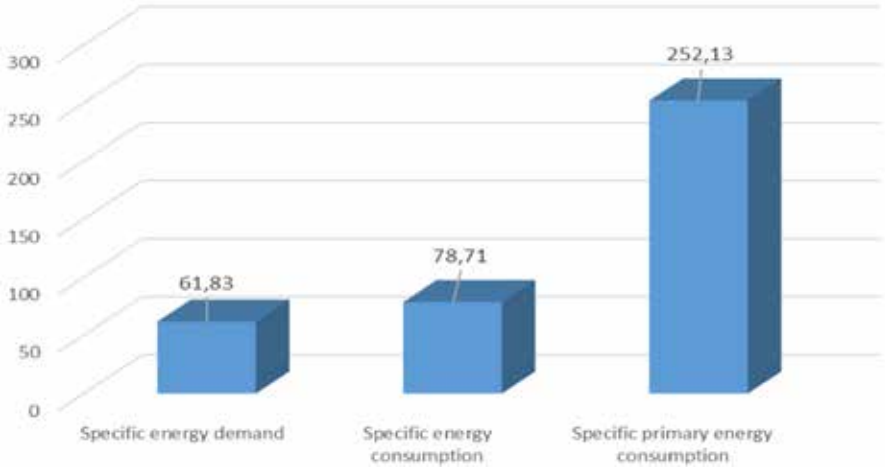


Fig. 6. Volumetric bar chart of the average value of annual energy efficiency indicators (kWh/m^3) of buildings of health care institutions in the city of Odesa certified in 2025

consumption of primary energy over the specific energy consumption is 27.3 %, which is very large. Significant exceeding of the maximum levels of energy consumption during heating and cooling by 3 times of the maximum value (exceedance of 302.7 %) was revealed.

In each of the 17 Energy Certificates of buildings of health care institutions of the city of Odesa certified in 2025, recommended measures for modernization and increasing the level of energy efficiency are given. We have classified them into the following categories:

1) *prevention of heat loss through the structure of the building*: application of an additional layer of insulating material on the external walls, replacement of windows and entrance doors, insulation of the attic and basement floor, reduction of infiltration due to sealing of seams and sealing of window and door structures;

2) *prevention of losses in heating and hot water supply systems in non-conditioned areas of the building*: insulation and reduction of the length and size of the heating network, replacement of existing ones with more efficient systems;

3) *heat is supplied without the necessary adjustment for heat input*: installation of weather-dependent automation at the entrance to the building or on boilers, installation of thermostatic valves on all radiators, installation of a temperature control system in the room to adjust heat supply based on real demand;

4) *prevention of losses through the ventilation system*: ventilation is provided naturally and is not controlled in any way, and uncontrolled ventilation is one of the main sources of energy losses.

Conclusions. The energy audit of buildings has been transformed from a reference document into an element of a global security strategy. For the Ukrainian context, this issue has three critical aspects: economic (minimization of state subsidies and population accounts), security (strengthening of the state's energy autonomy), and environmental (compliance with international climate obligations). A study of energy efficiency indicators was carried out according to 17 Energy Certificates of buildings of health care institutions of the city of Odesa

certified in 2025 using the Energy Efficiency register on the portal of the Unified State Electronic System in the Field of Construction (USESFC). Microsoft Excel spreadsheet was used for statistical data processing.

The analysis of the reduced heat transfer resistance of the enclosing structures showed that the state of energy efficiency of these structures is unsatisfactory, in particular, the enclosing structures cover only a part of the minimum permissible: external walls (39.7 %), combined coverings (41.2 %), covering of heated attics or technical floors (30.7 %), attic ceilings of unheated attics (26.9 %), ceilings over unheated basements (20.3 %), transparent structures (74.3 %), external doors (85 %).

The analysis of annual energy consumption showed the state of actual energy consumption of these buildings: energy consumption during heating (63.2 kWh/m^3; 51 %), energy consumption during cooling (10.2 kWh/m^3; 8 %), energy consumption during hot water supply (33.8 kWh/m^3; 27 %), energy consumption during ventilation (3.8 kWh/m^3; 3 %), energy consumption during lighting (13.9 kWh/m^3; 11 %).

The analysis of annual energy efficiency indicators showed the state of the actual level of energy efficiency of these buildings: specific energy consumption (61.83 kWh/m^3), specific energy consumption for heating and cooling (78.71 kWh/m^3), specific primary energy consumption (252.13 kWh/m^3), specific greenhouse gas emissions (112.63 kg/m^2).

Particular attention should be paid to the prompt reduction of energy consumption through the installation of individual heat points and the implementation of online monitoring systems. Obtaining an energy certificate is only the first step towards rational operation of health care buildings.

Bibliography

1. Petrichenko K., Vatman T., Hamilton I. Краща та швидша відбудова – чому енергоефективність є ключовою для України. *Міжнародне енергетичне агентство (MEA)*, *Аналіз*. URL: https://www.iea.org/commentaries/rebuilding-better-and-faster-why-energy-efficiency-is-key-for-ukraine (дата звернення: 02.02.2026).
2. Ramachandran A. EPBD: Посібник з Директиви про енергетичну ефективність будівель. *Провідна платформа сталого розвитку в різних галузях промисловості, Путівник*. URL: https://oneclicklca.com/en/resources/articles/epbd-a-guide-to-the-energy-performance-of-buildings-directive (дата звернення: 04.02.2026).
3. Anastasiadou M., Santos V. D. D., Dias M. S. Порівняльний аналіз політики сертифікації енергоефективності та модернізації в Португалії та Італії. *Звіти про енергетику*. 2026. Том. 15(108919). https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.12.056
4. Чорна В., Махнюк В. Нормативна база з проектування закладів охорони здоров'я з надання психологічної та психіатричної допомоги населенню України: сучасні санітарно-епідеміологічна та містобудівна складові, закордонний досвід. *Наукові цілі та завдання у XXI столітт*: праці 5-го ISPC, м. Сіетл (США), 19–20 серпня 2023 р. 2023. С. 293–313. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.08.2023.024
5. Радченко В. С. Класифікація закладів охорони здоров'я: національний підхід та зарубіжний досвід. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, 2023. № 67. С. 360–371. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.360-371
6. Юнгер В. І. Вимоги до інфраструктури та управління закладами охорони здоров'я в умовах воєнного стану та повоєнного періоду. *Економіка, управління та адміністрування*. 2023. № 4(106). С. 194–200. https://doi.org/10.26642/ema-2023-4(106)-194-200
7. Радченко В. С. Принципи архітектурного проєктування медичних закладів на основі новітніх тенденцій. *Українська академія мистецтва*, 2023. № 34. С. 46–52. https://doi.org/10.32782/2411-3034-2023-34-6
8. Очеретяна Г. В., Махнюк В. М., Чорна В. В., Горваль А. К., Клименко Г. В. Нормативно-правове регулювання розміщення вбудованих закладів охорони здоров'я у нежитлових приміщеннях житлових будинків. *Навколишнє середовище та здоров'я*. 2020. № 4. С. 35–45. https://doi.org/10.32402/dovkil2020.04.035
9. On the energy performance of buildings (recast). Directive 2024/1275 of the European parliament and of the council. *EU, Official Journal of the European Union, L series*. 2024. 68p. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275
10. González-Torres M., Pérez-Lombard L., Coronel J. F., Maestre, I. R., Yan D. Огляд інформації про енергоспоживання будівель: тенденції, кінцеве використання, види палива та рушійні сили. *Звіти про енергетику*. 2022. Том 8. С. 626–637. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.280
11. ДБН В.2.2-10:2022 «Заклади охорони здоров'я. Основні положення». *Портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва*. URL: https://e-construction.gov.ua/files-token/b89327132436ca21047e4aa391edc195 (дата звернення: 09.02.2026).
12. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України «Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель» від 27.10.2020р. № 260. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text
13. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». *Портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва*. URL: https://e-construction.gov.ua/files-token/0cdf20010eaa9a05d8920c3cfbbe03e9
14. ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання». *Будстандарт Online*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98995

15. Sertyfikat z enerhoefektyvnosti [Energy efficiency certificate]. Yedyna derzhavna systema u sferi budivnytstva, reiestr 170 zapysiv (2026, January, 10) (Ukraina). https://e-construction.gov.ua/document/optype=13/filter=728_1,78_15,79_18501076289236327,80_428,724_2025-01-01_2026-01-01 [in Ukrainian].
15. Сертифікат з енергоефективності, реєстр 170 записів. *Єдина державна система у сфері будівництва*. https://e-construction.gov.ua/document/optype=13/filter=728_1,78_15,79_18501076289236327,80_428,724_2025-01-01_2026-01-01 (дата звернення: 10.012.2026).

References

1. Petrichenko K., Vatman T., Hamilton I. Rebuilding better and faster – why energy efficiency is key for Ukraine. *International Energy Agency (IEA), Analysis*. https://www.iea.org/commentaries/rebuilding-better-and-faster-why-energy-efficiency-is-key-for-ukraine (дата звернення: 02.02.2026).
2. Ramachandran A. EPBD: A guide to the Energy Performance of Buildings Directive. *One Click LCA Ltd, Guide*. URL: https://oneclicklca.com/en/resources/articles/epbd-a-guide-to-the-energy-performance-of-buildings-directive (дата звернення: 04.02.2026).
3. Anastasiadou M., Santos V. D. D., Dias M. S. Comparative analysis of energy efficiency certification and retrofit policies in Portugal and Italy. *Energy Reports*. 2026. Vol. 15(108919). https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.12.056
4. Chorna V. V., Makhniuk V. M. Regulatory framework for the design of healthcare institutions providing psychological and psychiatric care to the population of Ukraine: modern sanitary-epidemiological and urban planning components, foreign experience. *InterConf+*. 2023. № 36(167), P. 293–313. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.08.2023.024
5. Radchenko V. Classification of healthcare facilities: national approach and foreign experience. *Current Problems of Architecture and Urban Planning*. 2023. № 67. P. 360–371. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.360-371
6. Yunger V. Requirements for infrastructure and management of health care institutions in the conditions of martial arts and the post-war period. *Economics, Management and Administration*. 2023. № 4(106). P 194–200. https://doi.org/10.26642/ema-2023-4(106)-194-200
7. Radchenko V. Principles of architectural design medical institutions based on foreign experience. *Ukrainian Academy of Arts*. 2023. № 34. P. 46–52. https://doi.org/10.32782/2411-3034-2023-34-6
8. Ocheretiana H. V., Makhniuk V. M., Chorna V. V., Horval A. K., Klymenko H. V. Regulatory regulation of placement of built-in health institutions in non-residential premises of residential buildings. *Environment & health*. 2020. № 4. P. 35–45. https://doi.org/10.32402/dovkil2020.04.035
9. On the energy performance of buildings (recast). Directive 2024/1275 of the European parliament and of the council. *EU, Official Journal of the European Union, L series*. 2024. 68p. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275
10. González-Torres M., Pérez-Lombard L., Coronel J.F., Maestre, I.R., Yan D. A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. *Energy Reports*. 2022. № 8. C. 626–637. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.280
11. Zaklady okhorony zdorovia, Osnovni polozhennia [Health care institutions substantive provisions]. Derzhavni budivelni normy B.2.2-10:2022 (Ukraina). https://e-construction.gov.ua/files-token/b89327132436ca21047e4aa391edc195 [in Ukrainian].
12. Pro zatverdzhennia Minimalnykh vymoh do enerhetychnoi efektyvnosti budivel [On approval of Minimum requirements for energy efficiency of buildings]. Nakaz Ministerstva rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy № 260 (2020, October, 27) (Ukraina). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text [in Ukrainian].
13. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel [Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. Derzhavni budivelni normy B.2.6-31:2021 (Ukraina). https://e-construction.gov.ua/files-token/8dc043d502b881ead90ea46575496315 [in Ukrainian].
14. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pid chas opalennia, okholodzhennia, ventyliatsii, osvitlennia ta hariachoho vodopostachannia [Energy performance of buildings. Method for calculation of energy use for space heating, cooling, ventilation, lighting and domestic hot water]. Natsionalnyi standart Ukrainy 9190:2022 (Ukraina). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98995 [in Ukrainian].
15. Sertyfikat z enerhoefektyvnosti [Energy efficiency certificate]. Yedyna derzhavna systema u sferi budivnytstva, reiestr 170 zapysiv (2026, January, 10) (Ukraina). https://e-construction.gov.ua/document/optype=13/filter=728_1,78_15,79_18501076289236327,80_428,724_2025-01-01_2026-01-01 [in Ukrainian].

ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ЗАКЛАДІВ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я МІСТА ОДЕСИ СЕРТИФІКОВАНИХ У 2025 РОЦІ

Анотація. *Метою дослідження є оцінка стану енергоефективності будівель закладів охорони здоров'я та класифікація рекомендованих заходів з модернізації й підвищення рівня енергетичної ефективності. Виконано статистичний аналіз 17 енергетичних сертифікатів будівель закладів охорони здоров'я міста Одеси, внесених до реєстру ЄДЕССБ у 2025 році. За допомогою табличного процесора Microsoft Excel проведено кількісну та відсоткову обробку даних щодо класів енергоефективності, періодів експлуатації та поверховості будівель. Дослідження виявило незадовільний стан огороджувальних конструкцій, зокрема показники*

опору теплопередачі стін, перекриттів та покриттів становлять лише 20,3...41,2 % від нормативно допустимих. Встановлено структуру фактичного річного енергоспоживання: опалення (51 %), гарячого водопостачання (27 %), освітлення (11 %), охолодження (8 %), вентиляції (3 %). Аналіз питомого споживання первинної енергії та викидів парникових газів підтверджує низьку енергонезалежність фонду, перевищення питомого споживання первинної енергії над питомим енергоспоживанням складає 27,3 %. Виявлено значне перевищення граничних рівнів енергоспоживання при опаленні та охолодженні у 3 рази від граничного значення. Наведена класифікація рекомендованих заходів з модернізації та підвищення рівня енергетичної ефективності. Перспективи вбачаємо в необхідності системного переходу до стандартів nZEB та ZEB, впровадження індивідуальних теплових пунктів та онлайн-моніторингу.

Ключові слова: будівлі медичних закладів, інформація про енергоспоживання будівель, енергетична сертифікація, енергетична ефективність, первинна енергія.

С. О. Постернак
к.т.н., доцент, енергетичний аудитор будівель та процесів, м. Одеса

І. М. Постернак
к.т.н., доцент, доцент кафедри організації будівництва та охорони праці,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

О. С. Постернак
здобувач вищої освіти,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 621.3
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.14

Рагулін С. В.
к.т.н., доцент, доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії,
Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон
ORCID: 0000-0001-8955-0380

Шарабайко О. М.
к.т.н., доцент, доцент кафедри військової підготовки,
Українська державна льотна академія, м. Кропивницький
ORCID: 0000-0002-7261-4656

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І АНАЛІЗУ КОСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

Анотація. *У представленій статті проведено поглиблений системний аналіз архітектури та функціональних можливостей вітчизняної системи контролю і аналізу космічної обстановки (СКАКО) у межах реалізації завдань Національної космічної програми України. Актуальність дослідження обумовлена стрімкою мілітаризацією та комерціалізацією навколоземного простору, що вимагає від держави наявності незалежних та високоточних засобів моніторингу космічної обстановки для гарантування національної безпеки та захисту державних інтересів.*

Об'єктом дослідження виступає процес балістико-навігаційного забезпечення управління космічними апаратами (КА) та ведення каталогів космічних об'єктів (КО). У роботі деталізовано роль СКАКО як багатокомпонентної інформаційної системи, що виконує завдання ідентифікації, супроводження та прогнозування руху об'єктів у режимі реального часу. Особливу увагу приділено ієрархічній структурі системи, де виділено підсистему централізованого управління всіма вимірювальними комплексами, що входять до її складу.

Наукова новизна дослідження полягає у формалізації критеріїв оцінки якості функціонування СКАКО через тривимірний вектор показників: функціональний результат (P_f), ресурсні витрати (V_r) та часовий фактор (Т). Автором обґрунтовано специфічний підхід до визначення пріоритетності цих показників у контексті національної безпеки. Доведено, що при виконанні стратегічних завдань цінова складова (V_r) є другорядною порівняно з оперативністю (Т) та точністю ідентифікації об'єктів (P_f), оскільки ціна помилки в балістичних розрахунках може призвести до втрати коштовних космічних активів або загрози національній безпеці.

У статті детально проаналізовано групу чинників, що безпосередньо корелюють з якістю функціонування системи: від геопросторової конфігурації (територіальне розташування пунктів спостереження) до технічних характеристик каналів зв'язку. Окремим пунктом виділено складність взаємозв'язків системи із зовнішнім середовищем, включаючи вплив іоносферних завад та техногенного засмічення орбіт на точність радіотехнічних вимірювань.

За результатами аналізу визначено критичну необхідність встановлення жорстких вимог до СКАКО при її інтеграції з радіотехнічними системами управління КА. Встановлено, що подальша модернізація системи повинна спрямовуватися на підвищення автоматизації процесів ідентифікації та зменшення часового лагу між виявленням об'єкта та видачею цілевказівки споживачу інформації. Висновки статті можуть бути використані при розробці перспективних планів розвитку наземної космічної інфраструктури та вдосконаленні алгоритмів управління складними технічними системами.

Ключові слова: СКАКО, національна космічна програма, контроль космічного простору, балістико-навігаційне забезпечення, космічний об'єкт, функціональна ефективність, радіотехнічні системи управління, національна безпека.

Постановка завдання. Забезпечення національної безпеки є одним із пріоритетних завдань Національної космічної програми України, що реалізується шляхом створення та розвитку відповідної інфраструктури [1–2]. В умовах глобальної інтенсифікації освоєння навколоземного простору критичної ваги набуває питання балістико-навігаційного забезпечення (БНЗ) управління космічними апаратами (КА) [1–2].

У межах Програми особлива увага приділяється підвищенню ефективності експлуатації існуючих наземних засобів. Ключовим елементом цієї архітектури є Система контролю і аналізу космічної обстановки (СКАКО), функціонування якої визначено як стратегічний напрям розвитку вітчизняної космічної галузі [3].

Мета роботи проаналізувати архітектурй та функціональні можливості вітчизняної системи контролю і аналізу космічної обстановки (СКАКО) у межах реалізації завдань Національної космічної програми України.

Результати досліджень. Роль СКАКО у системі управління

Функціональне призначення СКАКО полягає у вирішенні комплексних завдань БНЗ, що включають:

• безперервну ідентифікацію та супроводження пріоритетних КА;

• формування та актуалізацію каталогів космічних об'єктів (КО) [4].

Якість роботи системи визначається її спроможністю виконувати цільові завдання із заданою точністю на визначених часових інтервалах [5].

Чинники впливу на якість функціонування

Проведений аналіз дозволяє виділити групу визначальних чинників, що безпосередньо корелюють із якісними показниками системи:

1. Конфігурація засобів: Кількісний склад та розгалуженість наземних пунктів контролю космічного простору (ККП).

2. Геометрія огляду: Розміри та межі зон контролю.

3. Інформаційна здатність: Повнота даних та дискретність спостережень.

4. Часовий регламент: Оперативність виявлення та ідентифікації об'єктів, що є критичним для запобігання конфліктним ситуаціям в орбітальній площині [5].

Функціонування Системи контролю і аналізу космічної обстановки (СКАКО) є стратегічним активом України, що забезпечує повноту інформації про стан навколоземного простору. Це виступає фундаментальним чинником дотримання норм міжнародного космічного права та зміцнення національної безпеки держави.

Аналіз факторів впливу та системних особливостей

Порівняльний аналіз фахової літератури [4] свідчить, що підвищення якості моніторингу космічного простору потребує глибокого дослідження специфіки функціонування системи. На ефективність виконання завдань СКАКО критично впливають такі фактори [5]:

• Геопросторова конфігурація: територіальне розташування наземних вимірювальних засобів;

• Інфраструктурна цілісність: якість та пропускна здатність каналів обміну даними;

• Динамічні показники: оперативність визначення навігаційних параметрів космічних об'єктів (КО).

Як інформаційна система, СКАКО забезпечує повний цикл супроводження, розпізнавання та каталогізації КО. Її функціонування характеризується низкою специфічних ознак:

1. Масштабність: велика кількість функціональних елементів у складі системи.

2. Висока зв'язність: складність внутрішніх та зовнішніх інтерфейсів взаємодії.

3. Цільова єдність: підпорядкованість усіх процесів єдиній меті – комплексному аналізу космічної обстановки.

4. Ієрархічність управління: наявність виділеної підсистеми координації всіх складових комплексів [6].

Критерії оцінки якості функціонування

Якість системи вважається достатньою за умови отримання достовірної інформації про КО із заданою точністю у визначеному часовому діапазоні. Для комплексної оцінки доцільно використовувати векторний показник, що враховує:

• P_f (Функціональний результат): ступінь досягнення цілей моніторингу.

• V_r (Ресурсні витрати): обсяг матеріально-технічних та інтелектуальних ресурсів, залучених для вирішення задачі.

• T (Часовий чинник): тривалість циклу обробки даних.

Оскільки СКАКО переважно функціонує у стаціонарному (моніторинговому) режимі, фактор часу T зазвичай інтегрується у показник функціонального результату P_f. Проте

при виконанні термінових заявок споживачів щодо пріоритетних об'єктів, оперативність набуває статусу самостійного критичного критерію.

Досягнення стратегічної мети функціонування СКАКО – $Ц_c$, безпосередньо корелює з успішним виконанням визначеного переліку завдань З. З огляду на системний підхід, взаємозв'язок між метою та процесом її реалізації можна представити у вигляді функціональної залежності:

$$Ц_c \leftrightarrow З = f(P_f, V_r, T)$$

де:

• P_f (Функціональна ефективність) – ступінь відповідності отриманого результату поставленому завданню (точність ідентифікації, повнота каталогу);

• V_r (Ресурсна ефективність) – сукупні витрати енергетичних, фінансових, інформаційних та трудових ресурсів;

• T (Часова або оперативна ефективність) – здатність системи надавати дані у регламентовані терміни.

Пріоритетність показників у контексті національної безпеки

При аналізі ефективності СКАКО постає питання вибору визначального критерію. Специфіка галузі свідчить про те, що при вирішенні завдань забезпечення національної безпеки та захисту державних інтересів у космічному просторі, ціновий показник (V_r) відходить на другий план [6].

Першочергового значення набувають функціональний (P_f) та оперативний (T) показники. Адже критична помилка в ідентифікації об'єкта або затримка у видачі цілевказівки може призвести до незворотних наслідків, вартість яких неспівмірна з експлуатаційними витратами системи.

Якість як комплексна властивість

Отже, якість функціонування СКАКО слід розглядати як її внутрішню здатність забезпечувати максимальний функціональний виграш при вирішенні цільових завдань. Ця здатність є похідною від:

1. Внутрішніх параметрів: архітектури системи та характеристик її підсистем (чутливість сенсорів, потужність обчислювальних центрів).

2. Зовнішніх факторів: впливу навколишнього середовища (космічна погода, завадова обстановка, техногенне засмічення орбіт).

Якщо виразити через X множину параметрів системи, тобто $X = \{Xi\}$, де $i = [1, p]$, а через Y множину параметрів зовнішнього середовища – $Y = \{Yk\}$, де $k = [1, м]$, тоді $P_ф = P_ф(X, Y)$.

Виходячи з цього про ефективність СКАКО можна говорити лише за умови якщо вона вище деякого граничного рівня $Д^*_д$, тобто $Д_д \geq Д^*_д$.

Її слід розглядати, насамперед, у контексті трьох основних показників [5]:

– величини контрольованого повітряно-космічного простору – Ω;

– повноти контролю (відсоток від загального числа КО, що пройшли через зону контролю за певний проміжок часу для яких визначено параметри руху) – χ;

– точності супроводу – δ.

Загальна інформація про СКАКО не дозволяє судити про виконання функцій системою і робити порівняльну оцінку систем. Виникає необхідність оцінки якості системи з допомогою деяких узагальнених показників, які об'єднують в собі найбільш важливі часткові показники. Для обгрунтування їх структури та складу необхідно визначити в першу чергу основні показники якості системи і критерії, відповідно з якими повинна здійснюватися оптимізація.

Позначимо через u вектор параметрів орбіти КО, а через Q_u континуальную область всіх можливих значень параметрів орбіт КО, які підлягають обслуговуванню. Якщо Q_u розділити на підобласті Q_{uj}, то подобласть Q_{uj} буде включати параметри орбіт КО j-го класу. Тоді можна визначити апріорну ймовірність наявності в потоці КО, які обслуговуються, представників j-го класу:

$$P_{aj} = \int_{\Omega uj} f_a(U)dU,$$

де $f_a(U)$ – апріорна щільність розподілу вектора параметрів u, яка характеризує поточну «заселеність» космічного простору та тенденції її зміни в майбутньому [6].

Апріорні ймовірності P_{aj} появи об'єктів того чи іншого класу орієнтовно можуть бути оцінені на основі наявної в СКАКО інформації про сумарну кількість КО – Mo і кількості КО того чи іншого класу M_{oj}, які можуть потрапляти в сектор огляду даного комплексу з урахуванням реальних параметрів орбіт КО. Тоді $P_{aj} = \frac{M_{oj}}{Mo}$. Отже повнота контролю може бути виражена як

$$\chi = \frac{\sum_j M_j}{Mo} = \frac{M}{Mo}.$$

Якщо маємо справу з космічними апаратами певного класу, то $\chi = P_{об}(\gamma, T)$.

Таким чином маємо узагальнений показник ефективності – $P_{об}(\gamma, T)$, який монотонно залежить від показників якості системи. Оптимізація обраного або вже створеного угруповання за технічними параметрами щодо найбільш важких умов роботи в загальному вигляді може бути представлена як

$$\max(\gamma)\min(v)\{P_{об}(\gamma, T),$$

де γ – ТТХ засобів спостереження;

v – варіанти умов роботи (розуміється наявність перешкод, зміна інтенсивності потоку КО тощо).

Важливими для реальної оцінки якості функціонування СКАКО є залежність показника ефективності $P_{об}(\gamma, T)$ від кількості вимірюваних параметрів КО (розмірності вектора), а також характеристик технічних засобів – γ, які впливають на показники точності (якості) вибірки інформації про тих чи інших ознаках КО. Найбільш об'єктивну оцінку дають результати натурних випробувань. Однак для отримання достовірної оцінки необхідно проведення великого числа випробувань по КО різноманітних класів, що не завжди виявляється можливим і потребує дуже великих часових затрат. Тому особливого значення набувають методи математичного моделювання [2].

Припустимо, що необхідно з точністю, яка забезпечить стале управління оцінити параметри орбіт КО. Нехай для параметрів орбіт КО – υ, які обслуговуються, задана деяка довірча область $\exists\nu$, яка визначає межі допустимих відхилень оцінок вектора параметрів – $\hat{\nu}$ від дійсного вектора. Таким чином, якщо $(\hat{\nu} - \nu) \in \exists\nu$, то вважається, що точність визначення параметрів задовольняє вимогам.

Якщо групування засобів спостереження характеризується вектором

$$\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3),$$

де γ_1 – вектор, характеризуючий кількість і типи засобів спостереження (ЗС);

γ_2 – вектор, який включає ТТХ кожного типу ЗС;

γ_3 – вектор, який визначає дислокацію і орієнтацію зон спостереження кожного ЗС, то для будь-якого КА з параметрами $\upsilon \in \Omega_\nu$ може бути оцінена умовна ймовірність супроводу на деякому фіксованому інтервалі часу T з необхідною точністю угруповання ЗС яка характеризується вектором γ

$$P\{(\hat{\upsilon}(\gamma, T) - \upsilon) \in \exists_\upsilon\} = f(\upsilon, \gamma, T).$$

Відповідно достовірність обслуговування всього потоку КО того ж угрупованням ЗС з заданою точністю може бути визначена як

$$P_{îá}(\gamma, T) = \int_{\Omega_\upsilon} \phi_à(\upsilon) f(\upsilon, \gamma, T) d\upsilon.$$

Если космические объекты распределены на классы и $\exists\nu = \exists\nu_j$, то

$$P_{îá}(\gamma, T) = \sum_j P_{aj} \cdot f_j P_{aj}(\gamma, T),$$

де $f(\gamma, T)$ – ймовірність супроводу з заданою точністю КА j-го класу заданої угрупованням ЗС на інтервалі часу T.

Якщо зона контролю не дозволяє супроводжувати космічні об'єкти j-го класу, то відповідна ймовірність дорівнює нулю. Середнє число супроводжуваних КО j-го класу угрупованням засобів спостереження на інтервалі T можна визначити як

$$M_j = \sum_{i=1}^{M_{oj}} P_{aj} f_i(\gamma, T),$$

для заданої сукупності вузлів і взаємозв'язків між ними. Значно менше досліджена зворотня задача: для заданого набору функцій визначити оптимальний склад системи та взаємозв'язки між ними. Приділимо основну увагу методиці розв'язання задачі вибору типу засобів спостереження, їх кількості, розташування і орієнтації зон спостереження [4].

Деяка початкова структура може бути побудована на підставі досвіду, виходячи з призначення системи, або з використанням засобів спостереження, які вже вирішують завдання спостереження космічних об'єктів, але в інтересах системи з іншими цільовими функціями. Така структура може бути працездатною, але не буде оптимальною за обраними показниками якості.

Система контролю космічного простору являє собою просторово-монолітну систему, і показники її якості багато в чому визначаються просторовими характеристиками засобів спостереження, які утворюють дану систему. При раціональному виборі цих та інших характеристик СККП надалі будемо спиратися на показники, введені вище, такі як – ймовірність обслуговування потоку КО $P_{об} = (\gamma, T)$.

По фізичній суті $f(\nu, \gamma, T)$ є ймовірність події, яка полягає в тому, що задана критеріальна (довірча) область $\exists\nu$, побудована відносно оцінки $\hat{\nu}(\gamma, \dot{O})$, «накриє» істинне значення вектора параметрів орбіти КО, за умови, що це справжнє значення дорівнює $\nu \in \Omega_\nu$. Оцінка $\hat{\nu}(\gamma, \dot{O})$ виходить на основі збору і обробки на інтервалі T вимірювань параметрів руху КО цього угрупованням ЗС з параметрами γ. Розміри і форма довірчої області відображають вимоги щодо якості обслуговування відповідного КО (в сенсі точності визначення параметрів його орбіти) $f(\upsilon, \gamma, T) = P\{(\hat{\upsilon}(\gamma, T) - \upsilon) \in \exists_\upsilon\}$ [4].

При отриманні значень функції $f(\nu, \gamma, T)$ будемо орієнтуватися на потенційно досяжну точність оцінювання вектора ν, яка може бути визначена на основі нерівності Рао-Крамера. При цьому в припущенні незміщеності оцінок $\hat{\nu}(\gamma, \dot{O})$ всю інформацію про потенційно досяжну точність оцінювання вектора параметрів орбіти КО, який обслуговується угрупованням ЗС з параметрами γ на інтервалі часу T, можна отримати, якщо розрахувати інформаційну матрицю Фішера (матрицю точності) $1/G(\gamma, T/\nu)$ [3].

Використовуючи вище наведений методичний апарат можна вирішити практичну задачу оптимізації складу, ТТХ угруповань ЗС СККП, а значить підвищити її ефективність для вирішення завдань щодо визначення навігаційних параметрів КА.

Таким чином, виходячи з узагальнених показників стає зрозуміло, що ймовірність супроводу певного угруповання КА з заданою точністю – $f_j(\gamma, T)$ залежить насамперед від різноспрямованості вектора ЗС – $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$.

Слід зазначити, що є області простору, які контролюються лише оптичними засобами і не контролюються радіотехнічними. У той же час оптичні засоби мають обмеження за метеорологічними умовами, умовами освітленості, часом доби. Тобто, маємо дуже «вузький» вектор $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$, який значно впливає на ефективність системи [6].

Створення нових радіотехнічних, радіолокаційних, оптичних та оптико-електронних засобів ККП потребує значних матеріальних і фінансових витрат, значного часу на їх створення та введення в дію. Актуально постає завдання розробки нових методів і способів ідентифікації космічних об'єктів і їх використання в існуючих радіотехнічних комплексах. У тому числі з використанням способу ідентифікації космічних апаратів (КА) на базі прийому і обробки неконтрольованого випромінювання бортової апаратури. Такий підхід дозволить розширити межі вектора ЗС – $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$ при мінімальних витратах і забезпечити ймовірність обслуговування потоку КО приблизно на 10–15 %.

Висновки. Проведений аналіз особливостей побудови СКАКО та пошук шляхів підвищення якості її функціонування дозволяють стверджувати: для ефективного балістико-навігаційного забезпечення необхідно чітко формалізувати вимоги до системи при взаємодії з радіотехнічними системами управління (РТСУ).

Основними групами вимог, що пред'являються до СКАКО у цьому контексті, є:

Вимоги до вірогідності даних: Забезпечення мінімально припустимих похибок при визначенні параметрів орбіт, що необхідно для розрахунку точних цілевказівок антенним системам наземних пунктів управління.

1. Вимоги до оперативності обміну: Мінімізація часових затримок у контурі «виявлення – ідентифікація – передача даних на РТСУ», що особливо критично при управлінні КА на низьких орбітах з короткими зонами видимості.

2. Вимоги до завадозахищеності: Здатність системи ідентифікувати сигнал КА та супроводжувати його траєкторію в умовах природних та навмисних радіозавад.

3. Вимоги до автономності: Можливість автоматизованого прийняття рішень щодо ідентифікації КО без залучення оператора у критичні фази управління.

4. Доведено, що подальший розвиток СКАКО неможливий без врахування специфічних вимог радіотехнічних систем управління. Тільки синергія засобів контролю космічного простору та систем управління КА дозволить забезпечити необхідну стійкість та надійність космічної діяльності України.

Література

1. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник : навч. посіб. / за ред. Ю. Л. Мазора, Е. А. Мачуського, В. І. Правди. Київ : Вища школа, 1999. 838 с.
2. Застосування космічних систем для забезпечення дій збройних сил / за ред. В. І. Ткаченка. Харків : ХВУ, 2001.192 с.
3. Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2013–2017 роки : Закон України від 05 верес. 2013 р. № 439-VII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/439-18 (дата звернення: 27.03.2026).
4. ДСТУ 4220:2003. Дистанційне зондування землі з космосу. Терміни та визначення понять. [Чинний від 2004–07–15]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. – 20 с.
5. Van Trees H. L. Functional techniques for the analysis of the nonlinear behaviour of phase-locked loops. *Proceedings of the IEEE*. 1964. Vol. 52, No. 8. P. 849–911.
6. Shkarofsky I. P. Generalized turbulence space correlation and wave-number spectrum-function pairs. *Canadian Journal of Physics*. 1968. Vol. 46. P. 2133–2153.

References

1. Mazor, Yu. L., Machuskyi, E. A., & Pravda, V. I. (Eds.). (1999). *Radiotekhnika: Entsyklopedychnyi navchalnyi dovidnyk; navchalnyi posibnyk* [Radio Engineering: Encyclopedic educational reference guide; study guide]. Vyshcha Shkola.
2. Tkachenko, V. I. (Ed.). (2001). *Zastosuvannia kosmichnykh system dlia zabezpechennia dii zbroinykh syl* [Application of space systems to support armed forces actions]. KhVU.
3. Law of Ukraine No. 439-VII. (2013). *Zahalnoderzhavna tsillova naukovo-tekhnichna kosmichna prohrama Ukrainy na 2013-2017 roky* [State targeted scientific and technical space program of Ukraine for 2013-2017]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/439-18
4. DSTU 4220:2003. (2003). *Dystantsiine zonduvannia zemli z kosmosu. Terminy ta vyznachennia poniat* [Remote sensing of the Earth from space. Terms and definitions of concepts]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
5. Van Trees, H. L. (1964). Functional techniques for the analysis of the nonlinear behaviour of phase-locked loops. *Proceedings of the IEEE, 52*(8), 849–911. https://doi.org/10.1109/PROC.1964.3184
6. Shkarofsky, I. P. (1968). Generalized turbulence space correlation and wave-number spectrum-function pairs. *Canadian Journal of Physics*, *46*(19), 2133–2153. https://doi.org/10.1139/p68-561

RESEARCH OF THE FUNCTIONING OF THE EXISTING SPACE SITUATION CONTROL AND ANALYSIS SYSTEM

Abstract. *The presented article provides an in-depth systemic analysis of the architecture and functional capabilities of the national Space Situation Control and Analysis System (SSCAS) within the framework of implementing the tasks of the National Space Program of Ukraine. The relevance of the study is driven by the rapid militarization and commercialization of near-Earth space, which necessitates the state's possession of independent and high-precision tools for monitoring the space environment to guarantee national security and protect state interests.*

The object of the study is the process of ballistic and navigational support for spacecraft (SC) control and the maintenance of space object (SO) catalogs. The work details the role of the SSCAS as a multi-component information system performing tasks of identification, tracking, and motion prediction in real-time. Particular attention is paid to the hierarchical structure of the system, identifying a specialized subsystem for the centralized management of all measurement complexes included in its composition.

The scientific novelty of the study lies in the formalization of criteria for assessing the quality of SSCAS functioning through a three-dimensional vector of indicators: functional result (P_f), resource costs (V_r), and time factor (T). The author substantiates a specific approach to prioritizing these indicators within the context of national security. It is proven that when performing strategic tasks, the cost component (V_r) is secondary compared to operational efficiency (T) and the accuracy of object identification (P_f), as the cost of an error in ballistic calculations could lead to the loss of expensive space assets or threats to national security.

The article provides a detailed analysis of a group of factors directly correlating with the system's functioning quality: from geospatial configuration (territorial distribution of observation points) to the technical characteristics of communication channels. A separate point highlights the complexity of the system's interconnections with the external environment, including the impact of ionospheric interference and anthropogenic orbital debris on the accuracy of radio-technical measurements.

Based on the analysis results, the critical necessity of establishing stringent requirements for the SSCAS during its integration with radio-technical spacecraft control systems is identified. It is established that further modernization of the system should be aimed at increasing the automation of identification

processes and reducing the time lag between object detection and the issuance of target designations to the information consumer. The conclusions of the article can be utilized in developing prospective plans for the development of ground-based space infrastructure and improving the management algorithms for complex technical systems.

Key words: SSCAS, National Space Program, space domain awareness, ballistic and navigational support, space object, functional efficiency, radio-technical control systems, national security.

S. V. Rahulin
Ph.D., Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Hydraulic Engineering, Water and Electrical Engineering,
Kherson State Agrarian and Economic University, Kherson

O. M. Sharabaiko
Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Military Training,
Ukrainian State Flight Academy, Kropyvnytskyi

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 691
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.15

Розум Р. І.
к.т.н., доцент кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль
ORCID: 0000-0001-7812-8248

Попович П. В.
д.т.н., завідувач кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль
ORCID: 0000-0001-5516-852X

Вітровий А. О.
к.т.н., доцент кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль
ORCID: 0000-0003-2885-3745

Буяк А. Є.
к.т.н., доцент кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль
ORCID: 0000-0002-3756-6687

Галиш Н. А.
к.е.н., старший викладач кафедри транспорту і логістики,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль
ORCID: 0000-0002-8538-823X

МЕТОДОЛОГІЯ БАГАТОПАРАМЕТРОВОГО ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЖИВУЧОСТІ НЕСУЧИХ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Анотація. *У статті проведено розгляд проблеми методологічного забезпечення надійності та живучості несучих систем металоконструкцій об'єктів критичної інфраструктури, значна частина яких експлуатується поза межами проєктного ресурсу та піддається впливу змінних навантажень та агресивних фізико-хімічних середовищ. Відображено обмеженість традиційних методів проведення оцінки технічного стану, які базуються, як правило, на проведенні візуальних оглядів і не забезпечують своєчасного встановлення прихованих дефектів та адекватного оцінювання рівня пошкодженості досліджуваних конструкцій. Метою дослідження є розробка методологічних засад багатопараметрового оцінювання надійності та живучості несучих систем металоконструкцій критичної інфраструктури. Запропонована методологія ґрунтується на поєднанні основних положень термодинаміки, фізико-хімічної механіки руйнування, теорії пружності із врахуванням температурних полів, а також матеріалознавства і фізики твердого тіла. Пропонований підхід передбачає врахування комплексної дії як статичних так і циклічних навантажень, температурного впливу й впливу агресивних середовищ, що забезпечує формування аналітичних моделей кінетики росту тріщин і прогнозування залишкового ресурсу конструкцій. У роботі запропоновано використання сучасних методів неруйнівного контролю та цифрової ідентифікації пошкодженості, зокрема підходів математичної морфології для проведення аналізу структури тріщин. Розроблені підходи щодо адаптації наближених методів розрахунку (метод еквівалентних площ, еквівалентних станів, граничної інтерполяції) для проведення оцінки напружено-деформованого стану та довговічності елементів зі складною геометрією. Отримані результати дозволяють підвищити точність виконуваного оцінювання щодо технічного*

стану конструкцій, прогнозування їх залишкової довговічності та формування рекомендацій по підвищенню надійності та безпеки експлуатації досліджуваних об'єктів критичної інфраструктури.

Ключові слова: критична інфраструктура, металоконструкції, надійність, живучість, багатопараметрове оцінювання, залишковий ресурс, довговічність.

Постановка проблеми. Об'єкти критичної інфраструктури це основа транспортних, енергетичних і промислових систем як нашої держави так і світу загалом. Від їх надійності залежить багато чинників таких як безпека населення, стабільність економіки, безперервність логістичних процесів тощо. Наслідками пошкодженості або відмови елементів таких споруд є виникнення значних економічних втрат, порушення транспортних зв'язків, а також виникнення аварійних ситуацій. Одночасно з тим, значна частина об'єктів критичної інфраструктури в Україні має вік від кількох десятиліть до століття і нині експлуатується на межі або поза межами проєктного ресурсу. Тривалий час експлуатації в умовах змінних навантажень, впливу атмосферних факторів та агресивних середовищ зумовило поступове накопичення втомних пошкоджень, появи мікротріщин і корозійної деградації металів. Результатом чого стало зниження міцнісних характеристик конструкцій, а отже і їх надійності, що, в свою чергу, зумовлює підвищення ризиків їх передчасного руйнування.

Необхідно відмітити, що значною проблемою сьогодення є також обмеженість можливостей традиційних методів проведення оцінки технічного стану інженерних споруд, які як правило, базуються на виконанні періодичних візуальних оглядів. Такого роду підходи не завжди забезпечують своєчасне виявлення прихованих дефектів чи оцінку реального рівня пошкодженості конструкцій. У зв'язку з цим, актуальним постає завдання розробки та впровадження сучасних методів діагностики та моніторингу надійності та живучості несучих систем критичної інфраструктури, які дозволять забезпечити більшу точність контролю технічного стану, а також дозволять здійснювати прогноз їхнього залишкового ресурсу.

Аналіз останніх досліджень. У теоріях надійності та довговічності конструкцій критичної інфраструктури недостатньо уваги приділено дослідженню проблеми оцінки міцнісних характеристик при сумісному впливу багатофакторних навантажень і агресивних середовищ, що в свою чергу, знижує значення експлуатаційної надійності та підвищує складність діагностики і прогнозування ресурсу металоконструкцій. Так, у працях Мілош Б. Джукіч, Амара М., Буледруа О. [1–3] в процесі дослідження опору конструкційних матеріалів поширенню втомних тріщин виконано дослідження механізмів руйнування, проте не проводилося дослідження впливів на величину деградації та руйнування матеріалів від наводнення як наслідку дії агресивних фізико-хімічних середовищ.

На основі праць вчених Хадж Меліані М., Дацишин О., Капелле Дж., Плувінадж Г., Мілош Б. Джукіч, Панасюка В., Никифорчина Г., Похмурського В., Дзядикевича Ю. та інших [1, 4–7] було встановлено, що кінетика наводнення металів у зонах передруйнування напряму залежить від параметрів напружено-деформованого стану в околі тріщини, а також величини нестаціонарного потоку водню з поверхні розділу.

В роботах Андрейків О. Є., Панасюк В. В., Дмитрах І. М. та інших [5, 8, 9] в процесі оцінки втомної міцності, не приймається до уваги вплив множини типових експлуатаційних середовищ.

Відомі методики прогнозування довговічності, В. Анілович, П. Ясній та інші [10], здійснюють розгляд ресурсу з позицій лінійної гіпотези накопичення втомних пошкоджень, не враховуючи процеси утворення і кінетику розвитку макродефектів в фізико-хімічних середовищах як початкових, так і набутих в процесі експлуатації.

Як бачимо, при виконанні оцінки експлуатаційної навантаженості, в існуючих дослідженнях, у теоретичних залежностях не враховано можливість проведення оцінки міцності та несучої здатності із урахуванням температурних впливів, а також не має аналітичних залежностей для формування рівномірного розприділення внутрішніх силових факторів в відповідальних елементах конструкцій.

Мета роботи. Метою дослідження є розробка методологічних засад багатопараме-

трового оцінювання надійності та живучості несучих систем металоконструкцій критичної інфраструктури, які направлені на формування науково обґрунтованих підходів діагностики, моніторингу та прогнозування технічного стану даних систем, що дозволить підвищити точність оцінки надійності конструкцій, своєчасного виявлення небезпечних дефектів, прогнозування залишкового ресурсу, а також підвищення загального рівня безпеки експлуатації об'єктів критичної інфраструктури.

Результати досліджень. Методологія виконання багатопараметрового оцінювання надійності та живучості несучих систем металоконструкцій критичної інфраструктури при дії довготривалих як статичних так і циклічних навантажень з одночасним врахуванням експлуатаційних физико-хімічних середовищ (кислотні дощі, розчини ґрунту тощо) ґрунтується на законах термодинаміки, положеннях фізико-хімічної механіки руйнування, теорії пружності із врахуванням температурних полів, а також матеріалознавства і фізики твердого тіла. Такого роду підхід можна використовувати для елементарного акту сповільненого руйнування – одиничного стрибка тріщини. На вище вказаній основі необхідно формувати аналітичні моделі кінетики розвитку тріщин при заданих початкових і кінцевих умовах поширення, а також діючих зовнішніх факторах для вузлів і елементів різної геометрії із врахуванням теплових потоків в досліджуваних матеріалах. Що, в свою чергу, є основою математичних моделей для встановлення періоду докритичного росту тріщин, а отже і залишкового ресурсу досліджуваних інфраструктурних конструкцій.

Вище наведений підхід становить базу методів для визначення міцності та прогнозування надійності, а також залишкової довговічності відповідальних елементів об'єктів критичної інфраструктури при дії силових і фізико-хімічних факторів, які відповідають експлуатаційним характеристикам. Методику проведення діагностування технічного стану нами пропонується формувати спираючись на підходи неруйнівних цифрових методів контролю, до яких належить удосконалена цифрова ідентифікація пошкодженості несучих систем металоконструкцій критичної інфраструктури.

Теоретичні і експериментальні дослідження необхідно виконувати згідно із основними засадами термодинаміки, теорії пружності, теорій втомного поширення тріщин і механіки фізико-хімічного руйнування, матеріалознавства, а також сучасних уявленнях про механізми руйнування несучих систем металоконструкцій критичної інфраструктури.

Для проведення математичного моделювання необхідно використовувати відому методологію теорії пружності, математичної фізики, а в складних випадках, для яких практичне застосування пов'язане із значними математичними труднощами, виконати обґрунтування застосування наближених методів, які раніше були розроблені науковцями, зокрема, методу еквівалентних площ для наближеного визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій з плоскими тріщинами складної конфігурації, методу еквівалентних станів для наближеного визначення розкриття вершин тріщин складних конфігурацій і метод граничної інтерполяції для наближеного визначення для складних випадків коефіцієнтів інтенсивності напружень, дельта-розкриття тріщин. Провести адаптацію відмічених наближених методів до нових задач оцінки надійності і довговічності несучих систем металоконструкцій критичної інфраструктури враховуючи інтегральну дію множини вище вказаних експлуатаційних факторів.

Наступним кроком провести формування аналітичного алгоритма для виконання оцінювання стану поверхонь металоконструкцій критичної інфраструктури за характеристиками сітки поширення тріщин із вдосконаленням методу кількісного аналізу зображення на основі підходів математичної морфології, метою якого є розробка методологічних підходів та рекомендацій оцінювання міцності та залишкового ресурсу, методи реагування та ліквідації наслідків пошкодженості, управління надійністю та безпекою експлуатації, а також формування рекомендацій стосовно підвищення стійкості до пошкоджень вказаних відповідальних металоконструкцій критичної інфраструктури.

З причин того, що основним механізмом руйнування елементів несучих систем металоконструкцій критичної інфраструктури є механізм зародження і подальшого поширення тріщин, то, на відміну від раніше використовуваних методологічних підходів до досліджень, основну увагу необхідно приділяти саме дослідженням впливу на заро-

дження і поширення корозійно-механічних і корозійно-втомних тріщин від експлуатаційних навантажень і дії фізико-хімічного впливу середовищ. Разом з тим, необхідно проводити аналіз і синтез літературних даних написаних за результатами виконаних експериментальних досліджень впливів на швидкість росту тріщин в металевих матеріалах досліджуваних об'єктів, температурних полів і термомеханічних напружень в матеріалах, фізико-хімічних середовищ, що притаманні умовам експлуатації. Провести металографічні та фактографічні дослідження механізмів руйнувань металоконструкцій несучих систем критичної інфраструктури, а також експериментальні дослідження з побудови кінетичних діаграм поширення тріщин, на основі чого здійснити виведення математичних залежностей для аналітичного опису кінетичних діаграм, які ґрунтуються на підходах математичної морфології вдосконаленого методу кількісного аналізу зображень.

У подальшому отримані результати застосовувати під час формулювання відповідних аналітичних моделей оцінки та прогнозування міцності й залишкової довговічності, а також розробки рекомендацій щодо підвищення стійкості несучих систем металоконструкцій критичної інфраструктури.

Висновки. Розроблена методологія багатопараметрового оцінювання надійності та живучості несучих систем об'єктів критичної інфраструктури дозволяє здійснювати прогноз залишкової довговічності конструкцій від інтегральної дії циклічних навантажень, температурних полів та агресивних середовищ. Проведене дослідження не вичерпує всіх аспектів порушеної проблеми, у зв'язку з чим, в подальших наукових дослідженнях необхідно виконати узагальнення теорії і практики інтегрального використання методів виконання оцінювання надійності та живучості несучих систем критичної інфраструктури.

Література

1. Amara M., Bouledroua O., Hadj Meliani M., Pluvinage G. et al. Effect of corrosion damage on a pipeline burst pressure and repairing methods. *Arch Appl Mech*. 2019. № 89, pp. 939–951. https://doi.org/10.1007/s00419-019-01518-z

2. Milos B. Djukic, Gordana M. Bakic, Vera Sijacki Zeravcic, Aleksandar Sedmak, Bratislav Rajicic. The synergistic action and interplay of hydrogen embrittlement mechanisms in steels and iron: Localized plasticity and decohesion. *Engineering Fracture Mechanics*. 2019. № 216 https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106528

3. Hadj Meliani, M., Bouledroua, O., Ould-M'beirick, M., El-miloudi, K., Neggaz, Dj., Nateche, T., El-azzizi, A., Bokort, H., Houari, F., Pluvinage, G. The Two-Parameter Approach for Fracture Mechanics: Some Industrial Applications. *Fracture at all Scales*. 2017. pp. 105–134 https://doi.org/10.1007/978-3-319-32634-4_6

4. Capelle, J., Dmytrakh, I., Schwab, F. et al. Specific Corrosion Behavior of 316L Stainless Steel in Mineral Water. *Materials Science*. 2019. 54, pp. 728–738. https://doi.org/10.1007/s11003-019-00239-6

5. Datsyshyn O., Panasyuk V. Fretting Fatigue Fracture. In: Structural Integrity Assessment of Engineering Components Under Cyclic Contact. *Structural Integrity*. 2020 vol 9. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23069-2

6. Розум, Р. І., Вітровий, А. О., Шпінталь, М. Я., Буяк, А. Є., Попович П. В.. Вплив зовнішнього середовища та міцність і довговічність будівельних металоконструкцій та несучих елементів будівельної техніки. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2025. № 23, С. 358-366 https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-30

7. Дзядикевич Ю. В., Попович П. В., Вітровий А. О., Розум Р. І., Чорна О. В., Захарчук О. П., Галиш Н. А., Цідило З. М., Шок К. П. Сумісність компонентів матеріалів у цивільній інженерії. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(2). С. 91-97. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.91-97

8. Dmytrakh I. M., Leshchak R. L., Syrotyuk A. M. Experimental Study of Low Concentration Diffusible Hydrogen Effect on Mechanical Behaviour of Carbon Steel. *In: Gdoutos E., Konsta-Gdoutos M. (eds) Proceedings of the Third International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. ICTAEM 2020. Structural Integrity*. 2020. vol 16. pp. 32–37 https://doi.org/10.1007/978-3-030-47883-4_6

9. Datsyshyn O., Panasyuk V. Singular Integral Equations for Some Contact Problems of Elasticity Theory for Bodies with Cracks. *In: Structural Integrity Assessment of Engineering Components Under Cyclic Contact. Structural Integrity*. 2020. vol. 9. pp. 65–138 https://doi.org/10.1007/978-3-030-23069-2_3

10. Andreikiv, O. E., Babii, A. V., Dolinska, I. Y. et al. Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Materials Science*. 2020. № 56, 112–118. https://doi.org/10.1007/s11003-020-00404-2

References

1. Amara, M., Bouledroua, O., Hadj Meliani, M., Pluvinage, G. et al. (2019) Effect of corrosion damage on a pipeline burst pressure and repairing methods. *Arch Appl Mech*, 89, 939–951. https://doi.org/10.1007/s00419-019-01518-z
2. Milos B. Djukic, Gordana M. Bakic, Vera Sijacki Zeravcic, Aleksandar Sedmak, Bratislav Rajicic. (2019) The synergistic action and interplay of hydrogen embrittlement mechanisms in steels and iron: Localized plasticity and decohesion *Engineering Fracture Mechanics*, June 2019, 216. https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106528
3. Hadj Meliani, M., Bouledroua, O., Ould-M'beirick, M., El-miloudi, K., Neggaz, Dj., Nateche, T., El-azzizi, A., Bokort, H., Houari, F., Pluvinage, G. (2017) The Two-Parameter Approach for Fracture Mechanics: Some Industrial Applications. *Fracture at all Scales*. 105–134. https://doi.org/ 10.1007/978-3-319-32634-4_6
4. Capelle, J., Dmytrakh, I., Schwab, F. et al. (2019) Specific Corrosion Behavior of 316L Stainless Steel in Mineral Water. *Materials Science*. 54, 728–738. https://doi.org/10.1007/s11003-019-00239-6
5. Datsyshyn O., Panasyuk V. (2020) Fretting Fatigue Fracture. In: Structural Integrity Assessment of Engineering Components Under Cyclic Contact. *Structural Integrity*, 9. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23069-2
6. Rozum, R. I., Vitrovyi, A. O., Shpintal, M. Ya., Buiak, A. Ye., Popovych P. V. (2025). Vplyv zovnishnoho seredovyshcha ta mitsnist i dovhovichnist budivelnykh metalokonstruktsii ta nesuchykh elementiv budivelnoi tekhniky. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, 23, 358-366. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-30 [in Ukrainian].
7. Dziadykevych, Yu. V., Popovych, P. V., Vitrovyi, A. O., Rozum, R. I., Chorna, O. V., Zakharchuk, O. P., Halysh, N. A., Tsidylo, Z. M., Shok, K. P. Compatibility of material components in civil engineering. *Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 2023, 8(2), 91–97. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.91-97 [in Ukrainian].
8. Dmytrakh, I. M., Leshchak, R. L., Syrotyuk, A. M. (2020) Experimental Study of Low Concentration Diffusible Hydrogen Effect on Mechanical Behaviour of Carbon Steel. *In: Gdoutos E., Konsta-Gdoutos M. (eds) Proceedings of the Third International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. ICTAEM 2020. Structural Integrity*, 16, 32–37. https://doi.org/ 10.1007/978-3-030-47883-4_6
9. Datsyshyn, O., Panasyuk, V. (2020) Singular Integral Equations for Some Contact Problems of Elasticity Theory for Bodies with Cracks. *In: Structural Integrity Assessment of Engineering Components Under Cyclic Contact. Structural Integrity*, 9, 65–138. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23069-2_3
10. Andreikiv, O. E., Babii, A. V., Dolinska, I. Y. et al. (2020) Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Materials Science*, 56, 112–118. https://doi.org/10.1007/s11003-020-00404-2

METHODOLOGY FOR MULTI-PARAMETER ASSESSMENT OF RELIABILITY AND SURVIVABILITY OF LOAD-BEARING SYSTEMS FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE

Abstract. *The article examines the problem of methodological support of reliability and survivability of load-bearing systems of metal structures of critical infrastructure facilities, a significant part of which is operated beyond the design resource and is exposed to variable loads and aggressive physicochemical environments. The limitations of traditional methods for assessing the technical condition are reflected, which are based, as a rule, on visual inspections and do not provide timely detection of hidden defects and adequate assessment of the level of damage to the structures under study. The purpose of the study is to develop methodological principles for multi-parameter assessment of reliability and survivability of load-bearing systems of metal structures of critical infrastructure. The proposed methodology is based on a combination of the basic principles of thermodynamics, physico-chemical fracture mechanics, the theory of elasticity taking into account temperature fields, as well as materials science and solid state physics. The proposed approach assumes taking into account the complex action of both static and cyclic loads, temperature effects and the influence of aggressive environments, which ensures the formation of analytical models of crack growth kinetics and prediction of the residual service life of structures. The work proposes the use of modern methods of non-destructive testing and digital identification of damage, in particular mathematical morphology approaches for analyzing the crack structure. Approaches have been developed to adapt approximate calculation methods (equivalent area method, equivalent states, limit interpolation) to assess the stress-strain state and durability of elements with complex geometry. The results obtained allow to increase the accuracy of the performed assessment of the technical condition of structures,*

predict their residual durability and formulate recommendations to increase the reliability and safety of operation of the studied critical infrastructure objects.
Key words: critical infrastructure, metal structures, reliability, survivability, multi-parameter assessment, residual resource, durability.

R. I. Rozum
Ph.D., Associate Professor at the Department Transport and Logistics,
West Ukrainian National University, Ternopil

P. V. Popovich
D.Sc., Head of the Department of Transport and Logistics,
West Ukrainian National University, Ternopil

A. O. Vitrovyy
Ph.D., Associate Professor at the Department Transport and Logistics,
West Ukrainian National University, Ternopil
A. Ye. Buyak
Ph.D., Associate Professor at the Department Transport and Logistics,
West Ukrainian National University, Ternopil

N. A. Halysh
Ph.D., Senior Lecturer at the Department Transport and Logistics,
West Ukrainian National University, Ternopil

Дата першого надходження статті до видання: 18.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 16.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 338.12
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.16

Палагіцький В. І.
аспірант,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0009-0003-0661-4169

Скрипник А. Л.
к.е.н., доцент, докторант,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0000-0002-4461-9433

Скрипник О. В.
доктор філософії з економіки
ORCID: 0000-0001-5322-1075

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ З УРАХУВАННЯМ ЕКОНОМІЧНОЇ ЦИКЛІЧНОСТІ

Анотація. *У статті здійснено теоретичне узагальнення та критичний аналіз сучасних методичних підходів до оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств з урахуванням специфіки функціонування галузі в умовах економічної циклічності та повномасштабного збройного конфлікту.*

Встановлено, що традиційні методики оцінювання економічної безпеки, розроблені переважно для стабільного макроекономічного середовища, не забезпечують достатньої достовірності результатів у сучасних умовах функціонування будівельного бізнесу України.

Систематизовано основні підходи до оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств: індикаторний (пороговий), ресурсно-функціональний, інтегральний, ризик-орієнтований, програмно-цільовий та машинно-навчальний. Для кожного з підходів визначено ключові переваги та обмеження з точки зору їх застосування у будівельній галузі.

Обґрунтовано, що специфіка будівництва – тривалі виробничі цикли, проектний характер діяльності, висока капіталомісткість, залежність від авансового фінансування та проциклічний характер попиту – зумовлює необхідність адаптації стандартних методів оцінювання економічної безпеки.

Визначено основні функціональні складові економічної безпеки будівельного підприємства: фінансову, виробничо-технологічну, кадрову, ринково-контрактну, інформаційно-цифрову та безпекову.

Запропоновано введення безпекової (воєнної) складової як нового елементу оцінювання, що враховує фізичні, контрактні, регіональні та фінансові ризики, пов'язані з функціонуванням підприємств в умовах війни.

Виявлено три ключові деформації, які виникли внаслідок повномасштабної війни та суттєво впливають на адекватність оцінювання економічної безпеки: систематичне спотворення фінансових коефіцієнтів, регіональне розщеплення ринку нерухомості та структурна трансформація бізнес-моделі будівельної галузі.

Обґрунтовано необхідність переходу від статичних уніфікованих моделей до динамічних фазово-диференційованих методик оцінювання, які враховують фазу економічного циклу Кітчина.

Запропоновано використання «безпекового дисконту», регіонально-диференційованих бенчмарків та змінної системи вагових коефіцієнтів залежно від фази економічного циклу.

Доведено, що перспективним напрямом подальших досліджень є формування інтегральної фазово-диференційованої моделі оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств для умов воєнного стану та повоєнної відбудови України.

Ключові слова: розподілена генерація, будівля, трансформаторна підстанція, збірний і монолітний залізобетон, захисні конструкції укриттів, технологія швидкого будівництва.

Постановка проблеми. Економічна безпека будівельного підприємства є комплексною характеристикою стану суб'єкта господарювання, що відображає його здатність протистояти зовнішнім і внутрішнім загрозам, ефективно використовувати наявний потенціал і забезпечувати стійкий розвиток в умовах нестабільного економічного середовища. Ця концепція набуває особливої значущості у будівельній галузі, де висока капіталомісткість, тривалий виробничий цикл, залежність від кредитних ресурсів і проциклічний характер попиту формують підвищену вразливість підприємств до зовнішніх шоків – як макроекономічної, так і безпекової природи [1, 2].

Питання методології оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств не є новим для економічної науки. Однак переважна більшість існуючих методів не враховує циклічної динаміки будівельної галузі, насамперед її залежність від короткострокових циклів Кітчина [3, 4]. Ще суттєвішою є методологічна прогалина в оцінюванні економічної безпеки будівельних підприємств, що функціонують в умовах економічної кризи, спричиненої повномасштабним збройним конфліктом: стандартні нормативні значення фінансових коефіцієнтів систематично спотворюють картину реального стану підприємств, надаючи хибні сигнали про неплатоспроможність тих компаній, які фактично є операційно активними. Тому ускладнені війною можливості функціонування будівельних підприємств вимагають негайного пошуку ефективних рішень для подолання кризи та швидкого визначення стратегічних напрямків їх розвитку [5].

Метою дослідження є теоретичне узагальнення і критична систематизація сучасних методів оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств з урахуванням галузевої специфіки, а також обґрунтування підходів до врахування економічної циклічності задля підвищення достовірності отриманих оцінок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика оцінювання рівня економічної безпеки будівельних підприємств охоплює широкий спектр наукових праць.

Останні дослідження [6–10] формують низку окремих підходів до оцінювання рівня економічної безпеки підприємств: індикативний (пороговий), ресурсно-функціональний, програмно-цільовий, на основі теорії економічних ризиків, системний та економіко-математичний. Узагальнення зазначених підходів дозволяє класифікувати їх на три групи: об'єктивні (що ґрунтуються на математичній обробці даних без залучення експертних суджень), суб'єктивні (засновані на експертному оцінюванні) та гібридні (що поєднують обидва підходи)

Важливим нормативно-методичним орієнтиром в сфері оцінювання рівня економічної безпеки є «Методика розрахунку рівня економічної безпеки України», розроблена Міністерством економічного розвитку і торгівлі, яка визначає систему індикаторів економічної безпеки країни, їхні оптимальні, порогові та граничні значення і методи обрахування інтегрального індексу [11]. Попри макроекономічний фокус цього документа, його структурна логіка – ієрархічна агрегація індикаторів економічної безпеки за сферами, на нашу думку, може знайти застосування і на рівні підприємств .

Аналізу стану будівельної галузі в умовах війни та дослідженню методів оцінювання рівня економічної безпеки будівельних підприємств присвячені роботи [9, 10, 12, 13, 14]. Зокрема Дмитренко В.І. [9] обґрунтувала необхідність урахування галузевої специфіки у методиках оцінювання і наголосила, що перенесення порогових значень з інших галузей без коригування призводить до системних похибок. Воронков О.О. та Дяченко К.С. [10] розробили концептуальні засади забезпечення економічної безпеки будівельних підприємств, що враховують специфіку умов їх функціонування, зокрема нелінійну динаміку фінансово – виробничих циклів. Лисиця Н. [13] систематизувала методи та підходи до діагностики економічної безпеки підприємства, зокрема стосовно будівельної галузі. Кочегаров С. [7] розробив науково-методичні аспекти оцінки економічної безпеки будівельних підприємств, запропонувавши систему кількісних

та якісних показників, адаптованих до галузевої специфіки. Найбільш поширеним у сучасній практиці підходом до оцінювання рівня економічної безпеки будівельного підприємства є розрахунок її інтегрального показника, який дозволяє швидко реагувати на потенційні загрози, прораховувати ймовірні наслідки та забезпечувати менеджмент підприємства оперативною і адекватною інформацією для прийняття управлінських рішень.

Серед новітніх методологічних підходів до оцінювання рівня економічної безпеки будівельного підприємства важливе місце посідають моделі на основі штучного інтелекту. Так Kim та інші [15] на вибірці корейських будівельних компаній показали, що XAI-модель (модель інтерпретованого штучного інтелекту на основі алгоритму Random Forest із галузевими операційними змінними (ціновий індекс арматури, вартість праці)) прогнозує рентабельність активів (ROA) із точністю на 56% вищою, ніж традиційні фінансові індикатори. Це є принциповим методологічним зрушенням: оцінка економічної безпеки будівельних підприємств переходить від ретроспективних коефіцієнтів до прогностичних моделей.

Нова хвиля досліджень методів оцінювання рівня економічної безпеки будівельних підприємств була зумовлена повномасштабною війною. Зокрема специфіці функціонування будівельних підприємств в умовах збройного конфлікту присвячене дослідження Білецького І.В. та ін. [5], у якому обґрунтовано складність формування стратегії розвитку будівельних підприємств в умовах воєнного стану та наголошено на необхідності комплексного використання організаційних і фінансово-економічних інструментів для подолання кризових явищ. В свою чергу, Коба О. В. [12] і Садовяк М. Б. [14] у своїх дослідженнях охарактеризували структурні деформації будівельного ринку – зокрема перехід від нового будівництва до відновлювальних робіт, що, на нашу думку, суттєво змінює вагові коефіцієнти функціональних складових економічної безпеки.

У той час узагальнення вітчизняних та зарубіжних досліджень оцінювання рівня економічної безпеки будівельних підприємств свідчить, що жодне з них не пропонує конкретних підходів щодо урахування економічної циклічності (передусім циклів Кітчина) в методиках оцінювання рівня економічної безпеки будівельних підприємств, що зумовлює актуальність обраної теми даного дослідження.

Результати досліджень. У широкому розумінні економічна безпека підприємства – це стан захищеності його від екзогенних та ендогенних ризиків, що можуть негативно вплинути на досягнення ним економічних цілей та дотримання його економічних інтересів.

Однак для будівельного підприємства таке загальне визначення потребує галузевої конкретизації за трьома ключовими параметрами.

По-перше, поняття «захищеності» у будівництві слід розглядати у часовому вимірі, що відповідає циклу реалізації інвестиційно-будівельного проєкту. Так будівельне підприємство може бути фінансово стійким за підсумками звітного року, але перебувати в критичному становищі з позиції поточної ліквідності через розрив у надходженні авансів і виконанні зобов'язань – ситуація, що є нормою для будівельного бізнесу, але нерідко трактується методами загального аналізу як ознака кризи.

По-друге, екзогенні ризики будівельного підприємства мають виражену циклічну природу [3]: рецесивна фаза не просто зменшує доходи та збільшує витрати, але й підриває організаційні компетенції через змушену відмову від постійного персоналу і субпідрядників – механізм, детально описаний McKinsey Global Institute [4]. Відповідно, методи оцінювання економічної безпеки мають бути чутливими до фазового стану економічного циклу Кітчина, в якому перебуває підприємство.

По-третє, в умовах повномасштабного збройного конфлікту до переліку ключових екзогенних ризиків будівельного підприємства додається безпекова складова, що не враховується жодною класичною методологією оцінювання економічної безпеки. Фізичне знищення активів, форс-мажорне переривання контрактів, вимушена релокація персоналу і регіональне «розщеплення» ринку [16, 17] формують специфічні ризики, не передбачені існуючими методиками. З урахуванням зазначеного ми вважаємо, що у процесі оцінювання рівня економічної безпеки будівельних підприємств необхідно визначити не тільки життєздатність будівельного підприємства, але і його здатність успішно завершувати інвестиційно-будівельні проєкти впродовж усіх фаз економічного циклу Кітчина та у форс-мажорних умовах повномасштабної війни.

Аналіз наукової літератури дозволяє систематизувати основні методи оцінювання економічної безпеки підприємства за шістьма групами (табл. 1).

Таблиця 1. Порівняльна характеристика методів оцінювання економічної безпеки підприємства та їх обмеження стосовно будівельної галузі

Підхід / метод	Сутність	Переваги	Обмеження для будівельних підприємств
Індикаторний (пороговий) [7, 11, 13]	Порівняння фактичних значень показників із нормативними (пороговими) значеннями за функціональними складовими	Простота, наочність, оперативність	Відсутність галузевих порогів для будівництва; статичність нормативів; нечутливість до фази економічного циклу Кітчина
Ресурсно-функціональний [6, 10]	Оцінка ефективності використання ресурсів за функціональними складовими: фінансовою, кадровою, технологічною, інформаційною тощо	Охоплення всіх сфер діяльності будівельного підприємства; функціональна структурованість	Складність агрегування; суб'єктивність вагових коефіцієнтів складових; потребує значного масиву даних
Інтегральний [9, 10, 11]	Зведення окремих показників до єдиного інтегрального індексу через нормалізацію і зважування	Можливість порівняння; узагальнена картина стану будівельного підприємства	Втрата деталізації; чутливість до методу нормалізації; суб'єктивність у виборі вагових коефіцієнтів; ефект «маскування» критичних загроз
Ризик-орієнтований [6, 7]	Оцінка загроз через матриці ймовірності та збитку; сценарний аналіз ймовірних наслідків	Врахування невизначеності; придатний для превентивного управління будівельним підприємством	Складність кількісного оцінювання ймовірностей; суб'єктивність експертних оцінок; відсутня методологія врахування воєнних ризиків
Програмно-цільовий [6]	Оцінка через ступінь досягнення будівельним підприємством стратегічних цілей і виконання програм безпеки	Орієнтованість на результат; зв'язок зі стратегією розвитку будівельного підприємства	Потребує чіткого цілепокладання; не придатний для оперативної оцінки економічної безпеки будівельного підприємства; складно застосувати в умовах невизначеності
Машинно-навчальні та XAI-моделі (інтерпретований штучний інтелект) [15]	Прогнозування фінансових показників економічної безпеки будівельного підприємства (рентабельність активів (ROA), відношення боргу до власного капіталу (D/E), імовірність банкрутства) на основі алгоритмів машинного навчання (ML) із поясненням результатів	Потенційно вища точність; врахування галузевих операційних змінних; рання діагностика динаміки	Потребує великих галузевих вибірок; складність інтерпретації результатів; у воєнних умовах статистика обмежена [15]

Джерело: розроблено авторами

Індикаторний (пороговий) підхід є найбільш поширеним у вітчизняній практиці. Обмежується його застосування передусім тим, що специфічні порогові значення показників для будівельної галузі не визначені, а використання нормативів, розроблених для інших галузей, дає систематично спотворену картину. Наприклад, низьке значення коефіцієнта поточної ліквідності будівельного підприємства, що генерує значні авансові надходження, є нормою для галузі, але водночас «кризовим» сигналом за загальноекономічними нормативами.

Ресурсно-функціональний підхід загалом є методологічно адекватним для будівельного підприємства, оскільки відображає мультиресурсний характер будівельного виробництва. Водночас критичним залишається питання визначення вагових коефіцієнтів складових відповідного інтегрального показника. Так, оскільки під час фаз рецесії та депресії вагомість фінансової та кадрової складових стрімко зростає порівняно з фазами пожвавлення та піднесення, то застосування фіксованих вагових коефіцієнтів є методологічно неправомірним, а вагова структура має змінюватися залежно від фази економічного циклу Кітчина.

Інтегральний метод є привабливим з точки зору узагальненості, однак приховує суттєву небезпеку: при агрегуванні критично важливі локальні загрози можуть «розчинятися» у загальному значенні індексу, якщо інші його складові є прийнятними. Для будівельного підприємства, де катастрофічне погіршення одного параметра (наприклад, раптове знищення активів або форс-мажорне розірвання контракту) може означати банкрутство незалежно від стану інших складових, цей ефект «маскування» є особливо небезпечним.

Підхід на основі теорії ризиків є концептуально найбільш адекватним для умов економічної циклічності, а також дозволяє враховувати нові категорії ризиків. Головним обмеженням при його застосуванні є труднощі кількісного оцінювання ризиків, особливо воєнних: ймовірність ракетного удару по об'єкту будівництва є реальним фактором, але практично не піддається формалізованій оцінці.

Програмно-цільовий підхід, попри концептуальну привабливість, загалом є малопридатним для оперативного оцінювання стану економічної безпеки будівельних підприємств, оскільки потребує чіткого цілепокладання – умови, яку важко забезпечити в умовах швидкозмінної ринкової кон'юнктури і тим більше збройного конфлікту.

Машинно-навчальні та XAI-моделі (моделі інтерпретованого штучного інтелекту) є найновішим напрямом, що демонструє суттєві переваги у прогностичній точності, оскільки здатний враховувати нелінійні залежності між ціновими індексами матеріалів, продуктивністю праці, фінансовими показниками тощо. Принциповим обмеженнями у його застосуванні є потреба у великих галузевих вибірках, формування яких для українського будівельного ринку ускладнюється умовами воєнного стану: частина підприємств вийшла зі звітності або релокувалась, а державні органи призупинили оперативну публікацію статистичних показників будівництва.

Таким чином, жоден із наведених методів не є самодостатнім. Ефективна оцінка економічної безпеки будівельного підприємства потребує комбінованого підходу, де різні методи виконують різні функції: індикаторний – оперативний моніторинг; ресурсно-функціональний – системну діагностику; метод ризиків – превентивне управління загрозами; ML-моделі – прогностичну функцію. Водночас в умовах реального підприємства одночасне застосування усіх методів є економічно невиправдним, що зумовлює необхідність вибору їх оптимальної комбінації залежно від мети оцінювання і наявних даних.

Однак, оскільки можливості практичного застосування поєднання розглянутих методів на рівні конкретного вітчизняного будівельного підприємства обмежені, на нашу думку, доцільним є розроблення інтегрального показника, що відображатиме рівень економічної безпеки за функціональними її складовими.

Слід зазначити, що основою будь-якого комплексного методу оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств є той чи інший перелік функціональних складових економічної безпеки. Загалом фахівці розрізняють фінансову, кадрову, технологічну, інформаційну, організаційно-правову, ресурсну, соціальну та управлінську складові економічної безпеки. Для вітчизняних будівельних підприємств в поточних умовах цей перелік потребує деякого коригування і, на нашу думку, має включати шість складових, наведених у табл. 2.

Таблиця 2. Функціональні складові економічної безпеки будівельного підприємства та їх галузева специфіка

Складова ЕБ	Ключові індикатори	Специфіка для будівельного підприємства
Фінансова [6, 11, 17, 21]	Рентабельність активів (ROA), рентабельність власного капіталу (ROE), коефіцієнти ліквідності, відношення боргу до власного капіталу (D/E), рентабельність продажів	Обов'язкове врахування тривалих розрахункових циклів, авансових платежів, проектного характеру виручки; галузеві бенчмарки CFMA суттєво відрізняються від загальних нормативів .
Виробничо-технологічна [14, 18, 23]	Знос основних засобів, коефіцієнт їх оновлення, продуктивність праці, рівень цифровізації виробничих процесів	Знос будівельної техніки, залежність від мережі субпідрядників; впровадження BIM і 3D-друку як факторів підвищення рівня безпеки.
Кадрова [18]	Плинність кадрів, рівень кваліфікації, витрати на навчання, укомплектованість персоналом	Гострий дефіцит кадрів через мобілізацію; різке зростання вартості праці; управління кадровими ризиками – невід'ємна частина управління економічною безпекою
Ринково-контрактна [9, 17, 23]	Частка ринку, диверсифікація портфеля замовлень, дебіторська заборгованість, питома вага публічних контрактів	Залежність від публічних закупівель у рецесивній фазі; підприємства з диверсифікованим портфелем (баланс приватний/публічний замовник) демонструють вищий рівень економічної безпеки; субпідрядні ризики
Інформаційна / цифрова [13, 17]	Рівень цифровізації, кіберзахист, впровадження BIM, використання ЄДЕССБ	Критично низький рівень цифровізації галузі; реформа дозвільних процедур через ЄДЕССБ як інституційна можливість ; кіберзагрози для систем управління будівельних підприємств
Безпекова (воєнна) [5,12, 16, 20]	відсутня в класичних мирних моделях; пропонується авторами як новий компонент	Безпековий дисконт – коригуючий коефіцієнт для показників будівельних підприємств прифронтових регіонів; оцінка форс-мажорних контрактних ризиків; регіональна диференціація ринків нерухомості; структурна зміна бізнес-моделі.

Джерело: розроблено авторами

Центральною у більшості моделей оцінювання економічної безпеки є фінансово-економічна складова [6], що включає такі основні показники як рентабельність активів (ROA), рентабельність власного капіталу (ROE), коефіцієнти ліквідності та відношення боргу до власного капіталу (D/E). У загальноприйнятій практиці коефіцієнти поточної ліквідності вважаються задовільними в межах 1,5–2,5, показник D/E – прийнятним при значенні до 3,0, ROA – при перевищенні 5–10%, рентабельність власного капіталу (ROE) – при значенні понад 15–20%. Однак ці орієнтири є загальноекономічними і не відображають специфіки будівельного виробничого циклу.

Фактичні галузеві дані суттєво уточнюють вказані нормативи. Так, за даними Асоціації фінансового менеджменту у будівництві США та Канади (CFMA) [17], середній показник D/E у будівельній галузі США знизився з 1,9 до 1,3 за 2014–2023 рр., а коефіцієнт поточної ліквідності стабілізувався на рівні 1,6 (що значно нижче загальноекономічного нормативу 2,0–2,5), і це є галузевою нормою, а не ознакою кризи. Медіанний ROA у будівництві становить 11,8%, ROE – 31,4%, тоді як компанії найвищого квартилю демонструють ROA 28,4% і ROE 59,7% при D/E лише 0,9 . Показово, що рецесивна фаза економічного циклу різко поляризує галузь: різниця у вало-

вій маржі між кращими і гіршими квартилями компаній сягає 11,6 відсоткових пунктів, що свідчить про те, що економічний спад не лише погіршує середні показники, але й посилює конкурентну диференціацію (оскільки підприємства зі стійкою фінансовою структурою здатні використати кризову фазу циклу для зміцнення своїх конкурентних переваг).

Виробничо-технологічна складова є особливо важливою для будівництва через його фондомісткість. Наразі дослідження [18] фіксують знос основних фондів понад 50%, нестабільність інвестиційних потоків, низький рівень цифровізації як системні слабкі сторони вітчизняної будівельної галузі. Втім станом на початок 2024 року будівельна галузь України демонструвала зростання, рушійною силою якого стало будівництво інженерних споруд для модернізації інфраструктури [19]. Основними факторами розвитку є державні програми та міжнародна допомога, тоді як дефіцит кадрів та безпекові ризики залишаються головними стримувальними чинниками [19].

В умовах повномасштабної війни першочергового значення набула кадрова складова. Дослідники [18] відзначають кадровий дефіцит і різке зростання вартості робочої сили, що стали наслідками мобілізації, як головну проблему, що перешкоджає функціонуванню та розвитку вітчизняного будівництва. Внаслідок цього управління кадровими ризиками стало невід'ємною частиною управління економічною безпекою українських будівельних підприємств.

Ринково-контрактна складова відображає специфіку проектного характеру будівельного бізнесу: підприємство є настільки «безпечним», наскільки диверсифікованим є його портфель замовлень і наскільки керованими субпідрядні ризики. Дані CFMA [17] демонструють, що в умовах рецесії поляризація будівельних компаній зростає: підприємства з більш диверсифікованим портфелем (баланс між публічним і приватним замовником) демонструють значно вищий рівень економічної безпеки порівняно із середньогалузевими значеннями.

Безпекова (воєнна) складова є принципово новим компонентом економічної безпеки будівельних підприємств, відсутнім у класичних моделях. Вона охоплює фізичні ризики (знищення активів і об'єктів будівництва), контрактні ризики (їх форс-мажорне переривання), регіональні ризики (розщеплення ринку нерухомості) і специфічні фінансові ризики воєнного характеру [5, 12, 16, 20].

Повномасштабне вторгнення в Україну у 2022 році перетворило проблему адекватності методів оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств на критично важливу практичну проблему. При цьому застосування стандартних методів ускладнюють три ключові деформації вітчизняної економіки.

Перша деформація – систематичне спотворення фінансових показників. В умовах воєнного стану будівельні підприємства прифронтових регіонів, будучи операційно активними, демонструють аномальні значення фінансових коефіцієнтів через нерегулярний характер надходжень, зупинку частини проектів через безпекові обмеження та форс-мажорне розірвання контрактів. Жоден стандартний пороговий підхід не здатний розрізнити «справжню» і «воєнну» неплатоспроможність – і ця нездатність є не технічною помилкою, а структурним недоліком відповідних методик.

Друга деформація – регіональне розщеплення ринку нерухомості. Шандрівська О. Є. та Мрочко О. Ю. [16] документують формування регіональних субринків нерухомості із протилежною динамікою: ціни на нерухомість у безпечних регіонах зросли на 20–50% у валютному вираженні, тоді як у деяких прифронтових – різко впали. Для методик оцінювання рівня економічної безпеки вітчизняних будівельних підприємств це означає, що використання загальнонаціональних галузевих бенчмарків стає неможливим, оскільки підприємство, цілком конкурентоспроможне на своєму регіональному ринку, може виглядати «слабким» порівняно з агрегованими галузевими показниками.

Третя деформація – структурна зміна бізнес-моделі. Коба О. В. [12] і Казьмін О. Г. [20] фіксують, що галузь перейшла від інвестиційно-будівельних проектів у сфері житлової та комерційної нерухомості до переважання відновлювальних і ремонтних робіт об'єктів інфраструктури, що фінансуються за рахунок державних закупівель та коштів донорів. Це кардинально змінює структуру надходжень і витрат, тривалість виробничих циклів і профіль фінансових ризиків. Вагова структура функціональних складових економічної безпеки у воєнний час є принципово іншою, ніж у мирних умовах: технологічна та кадрова

складові стають ще важливішими, тоді як деякі фінансові показники набувають меншого значення.

Для подолання зазначених деформацій, на нашу думку, потрібні щонайменше три методологічні адаптації.

По-перше, це введення «безпекового дисконту» – коригуючого коефіцієнта, що нейтралізує систематичне спотворення стандартних нормативів у форс-мажорних умовах воєнного стану.

По-друге, це перехід до регіонально-диференційованих бенчмарків замість агрегованих загальнонаціональних.

По-третє, необхідна динамічна перекалібрація методик оцінювання рівня економічної безпеки із урахуванням фази економічного циклу Кітчина [3]. Це підтверджується кількома емпіричними дослідженнями.

Дослідження впливу зовнішніх рецесивних шоків на фінансові показники будівельних компаній, зокрема аналіз наслідків пандемії COVID-19 [21], свідчать, що рентабельність активів (ROA) є більш чутливою до рецесивних впливів, ніж коефіцієнти ліквідності та платоспроможності. Можна припустити, що подібна закономірність певною мірою проявляється і під час циклічних рецесій. Так, однакове значення ROA = 5 % може мати різне економічне значення залежно від фази циклу Кітчина: у фазі підйому воно може свідчити про відносно низьку ефективність використання активів порівняно з ринковою кон'юнктурою, тоді як у фазі рецесії той самий показник може характеризувати відносну стійкість підприємства. Отже, оцінювання фінансових індикаторів без урахування фази економічного циклу може призводити до викривлення аналітичних висновків.

У свою чергу, статистика банкрутств у будівельній галузі Великої Британії, яку веде BCIS [22], свідчить, що рівень неплатоспроможності будівельних компаній є чутливим індикатором стану галузі. Це дає підстави розглядати галузеву статистику банкрутств як додатковий індикатор у системі оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств, який доповнює традиційні фінансові коефіцієнти. На відміну від більшості фінансових показників, що переважно відображають уже сформовані результати діяльності підприємства, динаміка галузевих банкрутств може сигналізувати про зростання системних ризиків і погіршення ринкової кон'юнктури на ранніх етапах. Дослідження ж Асоціації фінансового менеджменту у будівництві (CFMA) [17] продемонструвало, що різниця у рентабельності між кращими і гіршими компаніями зростає саме у рецесивній фазі – тобто рецесія підсилює ефект від управлінських рішень, прийнятих у період економічного зростання.

На основі зазначеного пропонується принцип фазово-диференційованого оцінювання економічної безпеки будівельного підприємства, згідно з яким набір ключових індикаторів, їх нормативні значення та вагові коефіцієнти мають змінюватися залежно від того, в якій фазі економічного циклу перебуває галузь.

Реалізація цього принципу потребує окрім внесення відповідних змін до методик оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств також достовірного визначення поточної фази економічного циклу Кітчина на основі системи випереджальних індикаторів.

Висновки. Проведений аналіз дозволив сформулювати такі висновки.

Сучасні методи оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств (індикаторний, ресурсно-функціональний, інтегральний, ризик-орієнтований, програмно-цільовий і машинно-навчальний) у «чистому» вигляді не є релевантними для визначення рівня економічної безпеки будівельних підприємств України в умовах економічної циклічності та воєнного стану. Кожен із них несе структурний недолік: індикаторному не вистачає галузевих нормативів; ресурсно-функціональний застосовує фіксовані вагові коефіцієнти незалежно від фази економічного циклу Кітчина; інтегральний маскує критичні локальні загрози під час усереднення часткових показників; ризик-орієнтований не має методології оцінки воєнних ризиків; машинно-навчальні моделі потребують великих вибірок різноманітних об'єктивних даних, які в умовах воєнного стану є недоступними. Подолання цих обмежень можливе лише через комбінований підхід, який передбачає, що кожен метод виконує специфічну аналітичну функцію: моніторингову, діагностичну, прогностичну або превентивну, а всі вони разом забезпечують більш об'єктивну картину рівня економічної безпеки підприємства, причин саме такого її рівня та перспектив його зміни. Однак оскільки можливості практичного застосування поєднання розглянутих методів на рівні

конкретного вітчизняного будівельного підприємства обмежені, на нашу думку, доцільним є розроблення інтегрального показника, що відображатиме рівень економічної безпеки за функціональними її складовими.

Функціональна структура економічної безпеки будівельного підприємства в сучасних умовах, на нашу думку, має включати шість основних складових: фінансову, виробничо-технологічну, кадрову, ринково-контрактну, інформаційно-цифрову і безпекову. Остання є принципово новою і відображає специфіку функціонування будівельного бізнесу в умовах збройного конфлікту (фізичні ризики знищення активів і об'єктів, контрактні форс-мажорні ризики, регіональні безпекові ризики і специфічні фінансові ризики відновлювального фінансування). Виокремлення цієї складової задає окрему вимірювальну траєкторію і обґрунтовує необхідність введення так званого «безпекового дисконту» при розрахунку інтегрального показника економічної безпеки вітчизняних будівельних підприємств для прифронтових регіонів.

Повномасштабна війна в Україні породила три системні деформації, що роблять стандартні методи оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств нерелевантними: систематичне спотворення фінансових коефіцієнтів у прифронтових регіонах (відмінність між «справжньою» і «воєнною» неплатоспроможністю); регіональне розщеплення ринку (різновекторна динаміка регіональних субринків нерухомості); структурна зміна бізнес-моделі галузі (зміщення акценту із інвестиційного будівництва на відновлення об'єктів інфраструктури). Кожна деформація вимагає специфічної методологічної відповіді – від «безпекового дисконту» до регіонально-диференційованих бенчмарків і динамічної перекалібрації вагової структури часткових показників економічної безпеки будівельних підприємств.

Також існуючі методики оцінювання рівня економічної безпеки будівельних підприємств не враховують циклічної динаміки економічного середовища. Тому існуюча статична, уніфікована система оцінювання економічної безпеки будівельних підприємств, на нашу думку, є методологічно недосконалою, оскільки не враховує структурних відмінностей між загрозами і можливостями, що виникають на різних фазах економічного циклу Кітчина. На нашу думку, у методики оцінювання рівня економічної безпеки будівельних підприємств доцільно інтегрувати принцип фазово-диференційованої оцінки, згідно з яким набір ключових індикаторів економічної безпеки, їх нормативні значення та вагові коефіцієнти мають відрізнятись для різних фаз економічного циклу Кітчина.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці інтегральної фазово-диференційованої моделі оцінювання рівня економічної безпеки вітчизняних будівельних підприємств з урахуванням галузевих бенчмарків, безпекової складової і випереджальних індикаторів зміни фази економічного циклу. Така модель має стати ефективним інструментом антициклічного управління будівельним підприємством як у поточних умовах воєнного стану, так і під час майбутньої відбудови України.

Література

1. Steenberg J. Challenging Times for Construction Sector in 2024. Coface. URL: https://www.coface.com/news-economy-and-insights/challenging-times-for-homebuilders-and-real-estate-companies
2. Pheng L. S., Hou L. S. The Economy and the Construction Industry. *Construction Quality and the Economy.* 2019. P. 21–54. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-5847-0_2
3. Палагіцький В. Науково-методичні засади антициклічного управління як інструменту забезпечення економічної безпеки будівельних підприємств. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. № 3(56). С. 146–161. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).146-161
4. McKinsey & Company. The Next Normal in Construction: How Disruption is Reshaping the World's Largest Ecosystem. Executive Summary. 2020. URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-next-normal-in-construction
5. Білецький І. В., Кондратенко Н. О., Рудаченко О. О. Теоретико-методичні аспекти формування стратегії розвитку підприємств будівельної галузі України в умовах воєнного стану. *Проблеми економіки*. 2024. № 3(61). С. 162–169. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-0712-2024-3-162-169
6. Дашко, І., & Стефаник, С. Методичний підхід до оцінки рівня фінансово-економічної безпеки промислових підприємств. *Економіка та суспільство*. 2024. № 65. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-58
7. Кочегаров С. Оцінка економічної безпеки діяльності будівельних підприємств: науково-методичні аспекти. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2026. № 350(1). С. 37–42. DOI: 10.31891/2307-5740-2026-350-4
8. Гавловська Н., Матюх С., Любохинець Л. Оцінювання стану економічної безпеки промислового підприємства. *Development Service Industry Management*. 2023. № 1. С. 6–12. DOI: https://doi.org/10.31891/dsim-2023-1(1)

9. Дмитренко В. І. Оцінювання стану економічної безпеки підприємств будівельної галузі як складової національної економіки держави. *Ефективна економіка*. 2017. № 8. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8153
10. Воронков О. О., Дяченко К. С. Концептуальні засади дослідження економічної безпеки будівельних підприємств. *Вісник ЖДТУ. Серія: Економіка, управління та адміністрування*. 2017. № 4(82). С. 117–124. DOI: https://doi.org/10.26642/jen-2017-4(82)-117-124
11. Методика розрахунку рівня економічної безпеки України. Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України № 1277 від 29.10.2013. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1277731-13#Text
12. Коба О. В. Будівельний бізнес України: сучасний стан, проблеми та шляхи їх вирішення. *Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2023. Т. 34(73), № 2. С. 13–18. DOI: https://doi.org/10.32782/2523-4803/73-2-3
13. Лисиця Н. Методи та підходи до діагностики економічної безпеки підприємства. *Будівельне виробництво*. 2024. № 77. С. 11–17. DOI: https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.11-17
14. Садовяк М. Б. Аналіз актуальних тенденцій розвитку будівельних підприємств. *Академічні візії*. 2025. № 49. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17782284
15. Kim B. et al. An Explainable AI-Based Framework for Predicting Construction Firm Profitability and Capital Structure Considering Supply-Chain Volatility. *Buildings*. 2026. Vol. 16, № 4. Art. 840. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings16040840
16. Шандрівська О. Є., Мрочко О. Ю. Дослідження ринку нерухомості України в умовах економічної нестабільності. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Проблеми економіки та управління»*. 2025. Т. 9, № 1. С. 112. DOI: https://doi.org/10.23939/semi2025.01
17. CFMA. 2024 Construction Financial Benchmarker. Construction Financial Management Association (Асоціація фінансового менеджменту у будівництві). URL: https://cfma.org/articles/cfma-s-2-24-construction-financial-benchmarker-executive-summary
18. Назаренко І. М., Завора О. М. Діагностика діяльності будівельних підприємств в Україні: стан, проблеми та виклики. *Актуальні питання економічних наук*. 2025. № 16. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17468084
19. Іллященко О. В., Морар Є. М. Оцінка тенденцій розвитку будівельного бізнесу України. *Причорноморські економічні студії*. 2024. Вип. 90. DOI: https://doi.org/10.32782/bses.90-4
20. Казьмін О. Г. Стан та перспективи розвитку будіндустрії України в умовах економічної кризи, викликаної повномасштабною агресією рф, з точки зору економічної циклічності. *Будівельне виробництво*. 2023. № 76. С. 109–117. DOI: https://doi.org/10.36750/2524-2555.76.109-117
21. Zhang R., Chen L. Sun X.The Impact of COVID-19 on the Financial Performance of UK Construction Firms. *Construction Management and Economics*. 2024. Vol. 42, № 10. P. 867–885. DOI: https://doi.org/10.1080/01446193.2024.2355882
22. BCIS. Latest Construction Firm Insolvency Figures. Building Cost Information Service (Служба будівельної інформації про вартість). 2026. URL: https://bcis.co.uk/news/construction-insolvencies-latest-news/
23. Палагіцький В., Скрипник А., Скрипник О. Вплив економічної циклічності на формування економічної безпеки будівельних підприємств. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. № 3(55). С. 168–184. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(3).168-184

References

1. Steenberg J. (2024). Challenging times for construction sector in 2024. Coface. https://www.coface.com/news-economy-and-insights/challenging-times-for-homebuilders-and-real-estate-companies
2. Pheng L. S. & Hou L. S. (2019). The economy and the construction industry. *Construction Quality and the Economy,* 21–54. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5847-0_2
3. Palahitskyi V. (2025). Naukovo-metodychni zasady antytsyklichnoho upravlinnia yak instrumentu zabezpechennia ekonomichnoi bezpeky budivelnykh pidpryiemstv [Scientific and methodical principles of anti-cyclical management as a tool for ensuring economic security of construction enterprises]. *Ways to Increase Construction Efficiency,* 3(56), 146–161. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).146-161
4. McKinsey & Company. (2020). The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem (Executive Summary). https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-next-normal-in-construction
5. Biletskyi I. V., Kondratenko N. O. & Rudachenko O. O. (2024). Teoretyko-metodychni aspekty formuvannia stratehii rozvytku pidpryiemstv budivelnoi haluzi Ukrainy v umovakh voiennoho stanu [Theoretical and methodological aspects of forming a development strategy for construction companies in Ukraine under martial law]. *The Problems of Economy*, (3 (61)), 162–169. https://doi.org/10.32983/2222-0712-2024-3-162-169
6. Dashko I. & Stefanryk S. (2024). Metodychnyi pidkhid do otsinky rivnia finansovo-ekonomichnoi bezpeky promyslovykh pidpryiemstv [Methodological approach to assessing the level of financial and economic security of industrial enterprises]. *Economy and Society,* (65). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-58
7. Kocheharov S. (2026). Otsinka ekonomichnoi bezpeky diialnosti budivelnykh pidpryiemstv: naukovo-metodychni aspekty [Assessment of economic security of construction enterprises' activity: Scientific and methodical aspects]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences,* 350(1), 37–42. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2026-350-4
8. Havlovska N., Matiukh S. & Liubokhynets L. (2023). Otsiniuvannia stanu ekonomichnoi bezpeky promyslovoho pidpryiemstva [Assessing the state of economic security of an industrial enterprise]. *Development Service Industry Management,* (1), 6–12. https://doi.org/10.31891/dsim-2023-1(1
9. Dmytrenko V. I. (2017). Otsiniuvannia stanu ekonomichnoi bezpeky pidpryiemstv budivelnoi haluzi yak skladovoi natsionalnoi ekonomiki derzhavy [Assessing the state of economic security of construction enterprises as a component of the state national economy]. *Efficient Economy,* (8). http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8153

10. Voronkov O. O. & Diachenko K. S. (2017). Kontseptualni zasady doslidzhennia ekonomichnoi bezpeky budivelnykh pidpryiemstv [Conceptual frameworks for studying the economic security of construction enterprises]. *Herald of ZhDTU. Series: Economics, Management and Administration,* (4 (82)), 117–124. https://doi.org/10.26642/jen-2017-4(82)-117-124
11. Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine. (2013). Metodyka rozrakhunku rivnia ekonomichnoi bezpeky Ukrainy [Methodology for calculating the level of economic security of Ukraine] (Order No. 1277). *Legislation of Ukraine.* https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1277731-13#Text
12. Koba O. V. (2023). Budivelnyi biznes Ukrainy: suchasnyi stan, problemy ta shliakhy ikh vyrishennia [Construction business of Ukraine: Current state, problems and ways to solve them]. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Economy and Management,* 34(73), (2), 13–18. https://doi.org/10.32782/2523-4803/73-2-3
13. Lysytsia N. (2024). Metody ta pidkhody do diahnostyky ekonomichnoi bezpeky pidpryiemstva [Methods and approaches to diagnostics of enterprise economic security]. *Building Production,* (77), 11–17. https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.11-17
14. Sadoviak M. B. (2025). Analiz aktualnykh tendentsii rozvytku budivelnykh pidpryiemstv [Analysis of current trends in the development of construction enterprises]. *Academic Visions,* (49). https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/2443 https://doi.org/10.5281/zenodo.17782284
15. Kim B., et al. (2026). An explainable AI-based framework for predicting construction firm profitability and capital structure considering supply-chain volatility. *Buildings,* 16(4), Article 840. https://doi.org/10.3390/buildings16040840
16. Shandrivska O. Ye. & Mrochko O. Yu. (2025). Doslidzhennia rynku nerukhomosti Ukrainy v umovakh ekonomichnoi nestabilnosti [Research of the real estate market of Ukraine in conditions of economic instability]. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Series: Problems of Economics and Management,* 9(1), 112. https://doi.org/10.23939/semi2025.01
17. Construction Financial Management Association [CFMA]. (2024). 2024 Construction Financial Benchmarker. https://cfma.org/articles/cfma-s-2-24-construction-financial-benchmarker-executive-summary
18. Nazarenko I. M. & Zavora O. M. (2025). Diahnostyka diialnosti budivelnykh pidpryiemstv v Ukraini: stan, problemy ta vyklyky [Diagnostics of the construction enterprises' activity in Ukraine: State, problems, and challenges]. *Current Issues of Economic Sciences,* (16). https://doi.org/10.5281/zenodo.17468084
19. Illiashenko O. V. & Morar Ye. M. (2024). Otsinka tendentsii rozvytku budivelnoho biznesu Ukrainy [Assessment of development trends in the Ukrainian construction business]. *Black Sea Economic Studies,* (90). https://doi.org/10.32782/bses.90-4
20. Kazmin O. H. (2023). Stan ta perspektyvy rozvytku budindustrii Ukrainy v umovakh ekonomichnoi kryzy, vyklykanoi povnomasshtabnoiu ahresiieu rf, z tochky zoru ekonomichnoi tsyklichnosti [The state and prospects of development of the construction industry of Ukraine in the conditions of the economic crisis caused by the full-scale aggression of the Russian Federation, from the point of view of economic cyclicality]. *Building Production,* (76), 109–117. https://doi.org/10.36750/2524-2555.76.109-117
21. Zhang R., Chen L. & Sun X. (2024). The impact of COVID-19 on the financial performance of UK construction firms. *Construction Management and Economics,* 42(10), 867–885. https://doi.org/10.1080/01446193.2024.2355882
22. Building Cost Information Service [BCIS]. (2026). Latest construction firm insolvency figures. https://bcis.co.uk/news/construction-insolvencies-latest-news/
23. Palahitskyi V., Skrypnyk A. & Skrypnyk O. (2025). Vplyv ekonomichnoi tsyklichnosti na formuvannia ekonomichnoi bezpeky budivelnykh pidpryiemstv. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva,* 3(55), 168–184. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(3).168-184.

METHODICAL APPROACHES TO ASSESSING THE ECONOMIC SECURITY OF CONSTRUCTION ENTERPRISES TAKING INTO ACCOUNT ECONOMIC CYCLICALITY

Abstract. *The article provides a theoretical generalisation and critical analysis of contemporary methodological approaches to assessing the economic security of construction enterprises, taking into account the specific characteristics of the construction industry under conditions of economic cyclicality and full-scale armed conflict. It is established that traditional approaches to economic security assessment, developed mainly for relatively stable macroeconomic environments, do not ensure sufficient reliability of results in the current conditions of the Ukrainian construction sector. The study systematises the main approaches to assessing the economic security of construction enterprises, including indicator-based, resource-functional, integral, risk-oriented, programme-target, and machine-learning approaches. The advantages and limitations of each method are identified with respect to the specific features of construction activity.*

It is substantiated that the industry-specific characteristics of construction – long production cycles, project-based operations, high capital intensity, dependence on advance financing, and the procyclical nature of demand – require the adaptation of conventional economic security assessment methodologies. The key functional components of the economic security of construction enterprises are identified, namely financial, production-technological, personnel, market-contractual, information-digital, and security-related components. The introduction of a security (wartime) component is proposed as a fundamentally new element of assessment that takes into

account physical, contractual, regional, and financial risks arising from enterprises' operation under wartime conditions.

The study identifies three major structural distortions caused by the full-scale war that significantly affect the adequacy of economic security assessment: systematic distortion of financial ratios, regional fragmentation of the real estate market, and structural transformation of the business model of the construction industry. The necessity of transitioning from static and unified assessment systems to dynamic phase-differentiated methodologies that consider the phase of the Kitchin economic cycle is substantiated. The article proposes the application of a "security discount", regionally differentiated benchmarks, and variable weighting coefficients depending on the phase of the economic cycle. It is concluded that a promising direction for further research is the development of an integrated phase-differentiated model for assessing the economic security of construction enterprises under martial law and during the post-war reconstruction of Ukraine.

Key words: economic security, construction industry, construction company, assessment of economic security, economic cyclicality, Kitchin cycle, phases of the economic cycle, integral indicator, functional components of economic security, risks, countercyclical management, monitoring, financial and economic stability, modeling, martial law..

V. I. Palagitsky
Postgraduate Student,
Kyiv National University of Consstruction and Architecture, Kyiv

A. L. Skrypnyk
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Doctoral Student,
Kyiv National University of Consstruction and Architecture, Kyiv

O. V. Skrypnyk
Doctor of Philosophy in Economic

Дата першого надходження статті до видання: 22.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 658.5:69/330.33.12
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.17

Гойко А. Ф.
к.е.н., професор,
професор кафедри економіки будівництва,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0000-0002-9591-0829

Сорокіна Л. В.
д.е.н., професор,
професор кафедри економіки будівництва,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0000-0002-9981-4615

Лич В. М.
д.е.н., професор,
завідувач кафедри економічної теорії, обліку і оподаткування,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0000-0001-9024-1593

ЕКОНОМІЧНА БЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ ЯК ІНДИКАТОР ФАЗ ДІЛОВОГО ЦИКЛУ

Анотація. *Дослідження спрямоване на вивчення циклічних закономірностей дестабілізуючого впливу загроз економічній безпеці будівельних підприємств. Обґрунтовано пріоритетність використання відносних коефіцієнтів структури фінансових результатів для забезпечення зіставності рівнів часових рядів індикаторів економічної безпеки. Надано економічну інтерпретацію індикаторів економічної адаптації та економічного управління у контексті антициклічного моніторингу економічної безпеки будівельних підприємств. Визначено циклічні закономірності індикаторів економічної безпеки будівельного бізнесу. Обґрунтовано ретроспективний горизонт дослідження та просторову локацію вибірки спостережень часових рядів індикаторів. Встановлено повторюваність інтенсивності впливу чинників-дестабілізаторів економічної безпеки та непридатність «традиційних» трендових моделей для прогнозування циклічних коливань економічної стабільності учасників будівельної діяльності. На конкретному прикладі доведено низьку ефективність загальновідомих методів декомпозиції трендової та циклічної складової рівнів часового ряду. Встановлено доцільність використання нейромережевого моделювання параметрів авторегресійних прогностичних моделей для послаблення волатильності фінансових результатів будівництва. Виконано поглиблений аналіз автокореляційних закономірностей циклічної динаміки індикаторів економічної безпеки будівництва, що дозволило виявити 6-річний цикл зміни структури доходів і 2- та 6-річні цикли змін у структурі витрат. Уточнено набор входів алгоритмів нейро-нечіткого логічного висновку, типи і параметри функцій належності вхідних й вихідних змінних: дзвоноподібні для термів входів та дво- і трифакторні лінійні авторегресії для виходів. При цьому алгоритм для індикатору економічного управління містив більшу базу знань фаззі-алгоритму через додатковий вхід на позначення короткострокових 2-річних економічних циклів. Проілюстровано вищу апроксимаційну точність гібридних алгоритмів нейро-нечіткого висновку у порівняння із багатофакторними лінійними регресійними моделями.*
Доведено необхідність поглибленого аналізу параметрів нейромережі, передусім функцій належності входів та виходів. Виконано лінгвістичну та економічну інтерпретацію складових інтелектуальної системи для прогнозування циклічних змін індикаторів економічної безпеки. Запропоновано емпіричне правило економічної стабілізації. Продемонстровано необхідність поглибленого аналізу параметрів нейронної мережі, насамперед функцій належності входів та виходів. Здійс-

нено лінгвістичну та економічну інтерпретацію компонентів інтелектуальної системи прогнозування циклічних змін показників економічної безпеки. Запропоновано емпіричне правило економічної стабілізації.

Ключові слова: економічна безпека, циклічність економіки, індикатор економічної адаптації, індикатор економічного управління, цифровізація, конкурентоспроможність, стійкий розвиток, антициклічне управління, антикризове управління, коефіцієнт автокореляції, лаг, трендове рівняння, фаззі-алгорим, функція належності, будівельне підприємство.

Постановка проблеми. Загальновизнаним є факт періодичної повторюваності економічних піднесень і спадів, причому причини циклічного чергування економічних тенденцій мають різне джерело походження: техніко-технологічні, правові, суспільно-етичні, геополітичні і, навіть природничо-біологічні чинники із певною закономірність посилюють і послаблюють свій агресивний вплив на рівень добробуту економічних суб'єктів. Названі фактори впливають на ефективність економічних систем із різною регулярністю, часом накладаючись один на одний.

Втім, передбачуваність криз і піднесень спрощує процес і алгоритми операційного економічного регулювання, тактичного і стратегічного управління. Зазначене спонукає до проведення численних досліджень, спрямованих на розроблення і вдосконалення методології передбачення тривалості хвиль економічних циклів і обґрунтування технологій економічного управління, якими б заздалегідь передбачалась повторюваність певних наступальних чи захисних стратегій.

Усе вищевикладене набуває особливої важливості для підприємств будівництва, які найбільш вразливі до криз макрорівня, і спад ділової активності яких є загальновизнаним випереджальним індикатором циклічності національних економік.

Мета дослідження полягає у вивченні тривалості періоду повторюваності змін економічних результатів підприємств будівництва і обґрунтування логіко-математичного підходу до прогнозування циклічності у процесах виникнення, загострення загроз економічної безпеки і змін у пріоритетності заходів із її відновлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження проблематики послаблення негативних наслідків циклічних коливань макрорівня на діяльність підприємств реального сектору економіки, зокрема будівельної галузі, здійснювали чимало науковців. Особливо слід відзначити публікації: [1], [2], [9], присвячені розширенню теоретичного підґрунтя антициклічного управління, вони місять обґрунтування ключових закономірностей розвитку, упорядкування якісних характеристик рівноваги, розкриття механізму глобальної дифузії кризових явищ у світових економіках. Чималий інтерес являють праці [4–6], оскільки містять результат емпіричних досліджень циклічних кризових економічних явищ, а саме обґрунтування 7-річної тривалості економічного циклу, декомпозицію економічних показників на трендові і циклічні компонент, побудову фазових портретів динаміки ВВП України та інших країн світу. Проблематику антикризового управління підприємствами будівництва в умовах циклічних кризових збурень оточення подано в роботах [3], [7], що наголошують на пріоритетності соціальної орієнтації економічного управління, [8], [10], де пропонуються підходи до диференціації управлінських заходів на різних стадіях ділового циклу бізнесу.

Втім, попри активні і плідні наукові пошуки і досі залишається невирішеною частина проблема своєчасного передбачення і запобігання загострення загроз економічній безпеці будівельних підприємств з урахуванням регулярності їх появи у середньо- і довгостроковому часових горизонтах.

Результати досліджень. Економічна циклічність розглядає закономірності змін ділової активності упродовж тривалих часових інтервалів. Тому дослідження періодичності економічних результатів, дисбалансів, загроз, ризиків і інших показників суб'єктів господарювання пов'язано із поглибленим вивченням часових рядів даних. Оскільки чимало індикаторів економічної діяльності вимірюються грошовими одиницями, доводиться забезпечувати зіставність показників, застосовуючи індексації, дисконтування, інфлювання чи дефлювання, або ж перерахунки на умовні чи відносні показники. На нашу думку, використання відносних величин в аналізі часових рядів є чи не найприйнятнішим варіантом: по-перше, при цьому зменшується трудомісткість підготовчої роботи,

оскільки зникає необхідність коректування вартісних показників на зміни цінності грошей у часі. По-друге, використання відносних величин дає змогу комплексно оцінити якість економічного управління, одночасно враховуючи вплив кількох факторів, але зберігаючи при цьому зіставність різночасових значень показників.

Результативність механізму управління фінансовою безпекою будівельних підприємств, поряд із загальновідомим фінансовими коефіцієнтами, такими як показники рентабельності, оборотності, ліквідності чи фінансової стійкості, варто визначати також і з урахуванням структурних співвідношень фінансових результатів. З цією метою ми пропонуємо такі два співвідношення:

Питома вага інших операційних доходів у загальній сумі доходів від операційної діяльності, яку можна назвати індикатором економічної адаптивності;

Частка собівартості реалізованої продукції в операційних витратах, що може також бути названою як індикатор економічного управління.

Оскільки економічна циклічність традиційно розглядається як явище макро-рівня, то дослідження її впливу на економічну безпеку підприємств теж доцільно вивчати на національному, регіональному чи, принаймні, галузевому рівні. Тому для виявлення типових кількісних пропорцій змін індикаторів економічної безпеки їхні значення доводиться визначати, спираючись на дані Державної служби статистики України. Отже, індикатор економічної адаптивності (ІЕА), визначатиметься у такий спосіб:

$$I_{EA} = \frac{Інші\ операційні\ доходи}{Разом\ чисті\ доходи} \qquad (1)$$

Натомість формула для розрахунку індикатору економічного управління (ІЕУ) набуде наступного вигляду:

$$I_{EУ} = \frac{Собівартість\ реалізованої\ продукції}{Разом\ операційні\ витрати} \qquad (2)$$

Усі складові формул (1), (2) визначаються у відповідності із методологією, передбаченою національним стандартами обліку.

Зокрема, інші операційні доходи [11], наведені у чисельнику (1), узагальнюють збільшення активів, або зменшення зобов'язань, що зумовлює зростання власного капіталу внаслідок інших доходів від операційної діяльності підприємства, аніж дохід (виручка) від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг): доход від операційної оренди активів; дохід від операційних курсових різниць; відшкодування раніше списаних активів; дохід від реалізації оборотних активів (крім фінансових інвестицій, необоротних активів, утримуваних для продажу, та групи вибуття) тощо.

Собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг) – чисельник (2) відображає виробничу собівартість реалізованої продукції (робіт, послуг) та/або собівартість реалізованих товарів. Собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг) визначається згідно з положеннями (стандартами) бухгалтерського обліку 9 "Запаси", 16 "Витрати", 30 "Біологічні активи". Відповідно для статистичних спостережень макрорівня агрегують суми даних за показниками: збільшення (зменшення) запасів готової продукції та незавершеного виробництва; капіталізована вартість іншої роботи, виконаної суб'єктом господарювання, враховуючи вартість використаних сировини та витратних матеріалів, витрати на виплати працівникам і амортизаційні витрати.

З огляду на необхідність уникнення розкриття конфіденційної інформації, чинна методологія статистичних спостережень передбачає таку структуру показника «Операційні витрати» – знаменника формули (2): собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг); чисті понесені збитки за страховими виплатами; адміністративні витрати; витрати на збут; інші операційні витрати.

Аналогічно, знаменник моделі (1) має назву «Разом чисті доходи», їх визначено додаванням сум даних за показниками: чистий дохід від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг); чисті зароблені страхові премії; дохід від зміни у резервах довгострокових зобов'язань; дохід від зміни інших страхових резервів; інші операційні доходи; доход від участі в капіталі; інші фінансові доходи; інші доходи; прибуток від впливу інфляції на монетарні статті; прибуток від припиненої діяльності після оподаткування.

Звичайно, для будівельних підприємств деякі із вищеперерахованих часткових показників витрат і доходів через особливості їх основної діяльностьв будуть нульовими, однак це не позначиться на загальному результаті.

За економічним змістом індикатори (1) і (2) слід розглядати як характеристики здат-

ності підприємства до гнучкого забезпечення своєї здатності продовжувати економічну діяльність, попри мінливість внутрішнього та зовнішнього середовища. Оскільки економічне оточення підприємства у довгостроковому періоді характеризується регулярними змінами, і при цьому носії внутрішнього середовища також реагують на ці зміни із періодичною повторюваністю у часі. Для забезпечення належного опору загрозам доводиться належним чином активізувати, або, навпаки, уникати застосування тих чи інших управлінських засобів впливу. Зокрема, у періоди макроекономічного піднесення, якому характерні тенденції зростання сукупного попиту, в тому числі і інвестиційного, збільшується обсяг замовлень на будівельні роботи, а тому в операційних доходах закономірно домінуватиме частка чистого доходу від реалізації будівельної продукції. Натомість питома вага інших операційних доходів, тобто індикатор ІЕА (1) зменшуватиметься. Однак, подібний процес буде обмеженим у часі, оскільки будівельна галузь із тривалим життєвим циклом її продукції виявляється дуже вразливою до коливань ринкової кон'юнктури. Тому скорочення доходів підрядників, проєктувальників, забудовників проявлятиметься дещо раніше, аніж уповільнення економічної динаміки по інших видах діяльності. Відповідно закономірним буде скорочення кількості і вартості будівельних контрактів у портфелях замовлень підприємств будівництва, що спонукатиме їх керівництво та власників шукати будь-які інші можливості виживання на ринку. Звичайно, внаслідок цього змінюватиметься структура економічних результатів на користь зростання індикатору економічної адаптивності, тобто ІЕА (1) набуватиме більших значень.

Якщо при цьому врахувати ту обставину, що антициклічну стабілізаційну політику Уряди різних країн здійснюють з урахуванням не лише економічних, але й суспільних, геополітичних, безпекових явищ, яким теж властива циклічна повторюваність, індекс економічної адаптивності відображатиме здатність будівельних підприємств до відновлення своєї економічної безпеки у циклічно змінюваному несприятливому зовнішньому оточенні з урахуванням усіх дестабілізаторів, незалежно від причин та джерела походження.Носіями внутрішнього середовища підприємства, звичайно, є персонал, а також його активи. Поряд із матеріальними – виробничими запасами та основними засобами, активними чи пасивними, в аспекті антициклічного управління економічною безпекою також варті уваги нематеріальні активи. Насамперед, ретельного контролю вимагає динаміка дебіторської заборгованості. Проте, не менш важливо здійснювати моніторинг способів поєднання ресурсів у наскрізному виробничому бізнес-процесі, тобто управлінський механізм, на предмет повторюваності міри досягнення тактичних завдань і цілей обраної економічної політики. Зокрема, персонал будівельних підприємств, який найгостріше відчуває вплив циклічних негативних економічних явищ, насамперед прискорення інфляційних тенденцій, намагатиметься збільшити свій особистий дохід. Для збереження якісної структури кадрів невід'ємною частиною внутрішнього економічного управління в умовах циклічності стають регулярні збільшення витрат на оплату праці та соціальні заходи. Неможливість уникнення таких складових здорожчання будівництва спричинена і перманентним підвищенням соціальних стандартів, як одного із заходів національної стабілізаційної економічної політики. Разом із цим, у кризові і передкризові періоди будівельні підприємства змушені мінімізувати собівартість будівельних робіт, і з цією метою їм доводиться нагромаджувати більші запаси будівельних матеріалів, енергоносіїв, захищаючи тим самим від знецінення свої грошові кошти. У частині формування фінансових результатів подібна оптимізація виявиться збільшенням інших операційних витрат швидшими темпами, аніж собівартості реалізованої продукції.

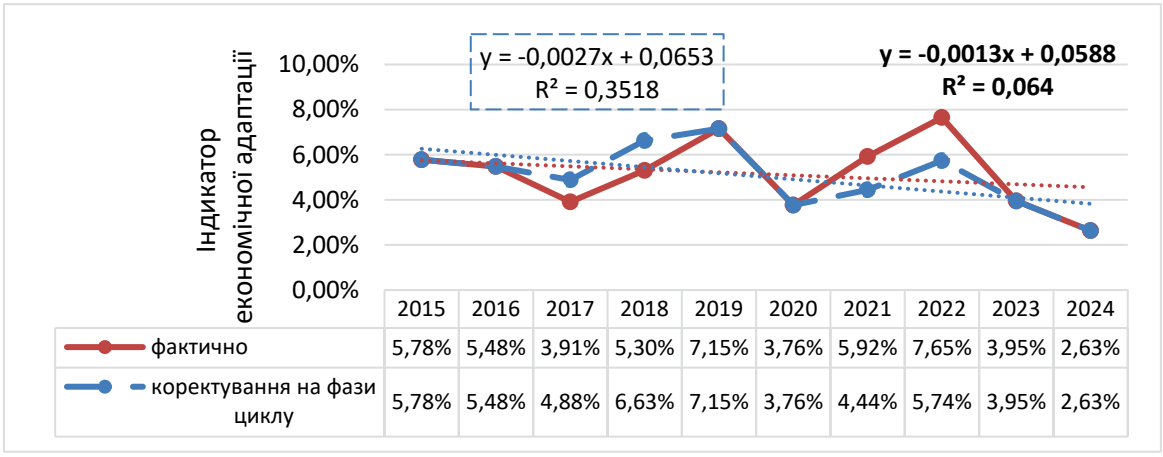
Скорочення попиту на будівництво спонукає підрядників, забудовників, проектувальників активніше демпінгувати та здійснювати інші заходи маркетингової політики, внаслідок чого прискорено зростатимуть витрати на збут. Ще одною причиною зростання інших операційних витрат стає збільшення суми дебіторської заборгованості замовників, у якій невпинно зростає частка такої, що має дуже низьку імовірність погашення. Вже ця, далеко не повна, сукупність ознак макроекономічних кризових явищ доводить факт зменшення індикатору економічного управління (ІЕУ), визначеного за моделлю (2) у періоди спаду, і його зростання у фази макроекономічного пожвавлення та піднесення.

Викладені вище тенденції зміни індикаторів економічної безпеки було досліджено за результатами діяльності будівельних підприємств

шести регіонів України за останні 10 років, з 2015 до 2024. У ці періоди спостерігались декілька хвиль економічних циклів, причинами яких були не лише періодичні коливання ділової активності України і Світу, але і суспільні, політичні та інші чинники: остаточний вибір Україною Євроінтеграційного вектору та активна імплементація норм Європейського законодавства у 2015–2016 рр., протипандемічні заходи від Covid-19 у 2020–2021 рр., повномасштабна агресія рф, починаючи із 2022 і донині.

Ми навели лише найпотужніші дестабілізатори економічної діяльності, що передусім ускладнювали інвестиційну діяльність, яка, власне, і формує ділову активність підприємств будівництва. З огляду на тривалість періодів відносної стабільності економічного оточення закономірним виявиться припущення про 4-річні циклічні коливання рівня економічної безпеки галузі. Вони особливо помітно проявляються у центрах ділової активності, тому для перевірки низки гіпотез про довжину хвиль економічних циклів досліджувались фінансові результати підприємств будівництва Дніпропетровської, Київської, Львівської, Одеської, Харківської областей та м. Києва. На графіку (рис. 1) представлено динаміку індексу економічної адаптивності для будівництва житлових і нежитлових будівель у Харківській області, ламана лінія чітко демонструє два максимуми, тобто реакцію будівельного бізнесу на циклічні економічні спади у 2019 і 2022 рр. Якщо рік повномасштабного вторгнення із різким погіршенням економічної і взагалі безпеки життєдіяльності закономірно очікується таким, що вимагає активізації стабілізаційних заходів, то ознаки активізації захисних механізмів у 2019 видаються дещо «несподіваними». З огляду на відносну стабільність цього періоду, хіба що вибори Президента України спричинили сповільнення ділової активності через негативні очікування бізнесу. Тобто 2019 рік визначає «дно» приватних ділових циклів більшості компаній.

Повторюваність піднесень і спадів аналізованого показника унеможливлює його достовірну апроксимацію за допомогою лійного тренду, оскільки (рис. 1) суцільна лінія значно відхиляється від точкової, а коефіцієнт R-квадрат не досяг і значення, рівного 0,1. Численні експерименти із згладжуванням первинних даних, шляхом розкладанням їх на загальну тенденцію та періодичну компоненту також виявились невдалими. Зокрема, пунктирна лінія відображає згладжування економічних коливань за допомогою підходу, подібного до визначення гармонік ряду Фур'є. Візуальний аналіз ряду динаміки індикатору адаптивного управління спонукав припустити про 6-річний цикл впливу загроз економічній безпеці, причому співвідношення «пікових» максимумів та мінімумів до середнього рівня індикатору перебувало біля 25%. Тому нами було обчислено умовні значення індикатору у такий спосіб, щоб кожні 2 роки по черзі застосовувались понижуючі (0,75=1–0,25), одиничні, підвищувальні (1,25=1+0,25) та знов одиничні коефіцієнти. Звичайно, при цьому максимуми і мінімуми давали менший розмах варіації, а внаслідок штучного коректування достовірність лінійної апроксимації дещо підвищи-



	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
фактично	5,78%	5,48%	3,91%	5,30%	7,15%	3,76%	5,92%	7,65%	3,95%	2,63%
коректування на фази циклу	5,78%	5,48%	4,88%	6,63%	7,15%	3,76%	4,44%	5,74%	3,95%	2,63%

Рис. 1. Динаміка індикатору економічної адаптації підприємств Харківської області, що спеціалізуються на будівництві житлових і нежитлових будівель

Джерело: розраховано авторами за даними Держстату України [12] за 2015–2024 рр.

лась і склала 0,362 – це значення R^2 у пунктирній рамці на рис. 1. Втім, подібний підхід, попри трудомісткість вився непридатним для прогнозування періодичних кризових явищ, оскільки не забезпечив належної статистичної значимості економетричної трендової моделі. Крім того, даний підхід не є універсальним, оскільки для інших регіонів і для індикатору економічного управління доводиться спиратись на результати візуального аналізу, а конфігурація графіків часових рядів у кожному випадку відрізняється. Ще одним серйозним недоліком такого підходу є його чимала трудомісткість із обґрунтування способів згладжування первинних даних, в цьому зв'язку зручнішими є авторегресійні моделі, які передбачають прогнозування сподіваного результату на основі поточного чи ретроспективного значення досліджуваного показника. Для полегшення процесу розроблення методичного підходу до прогнозування ефективності заходів економічної стабілізації не варто відмовлятись від найсучасніших аналітичних інструментів – нейронних мереж, Дві таких мережі ми і пропонуємо у якості індикаторів економічної безпеки в умовах циклічності змін оточення підприємства. Це – гібридні нейронечіткі мережі, входами яких є ретроспективні і поточні значення індикаторів управління економічної безпеки (1) і (2). Виходом мереж визначено прогнозну величину індикатор економічної адаптивності чи економічного управління у наступному році, після дати розрахунку. Кількість входів і їх якісний склад було обґрунтовано на основі розрахунків коефіцієнтів автокореляції із різним зсувам вікна аналізу (табл. 1). В ній жирним шрифтом виділено коефіцієнти автокореляції, за модулем вищі за 0,58 – межу, яка визначає статистичну значимість тісноти міжчасового зв'язку досліджуваних індикаторів. Для індикатору економічної адаптації більшість значимих коефіцієнтів автокореляції – додатні, це означає що відповідний лаг можна розглядати як тривалість повної хвилі економічного циклу. Відповідно від'ємні, проте статистично значимі автокореляції, яких майже вдвічі менше, аніж додатних, створюють підстави для обґрунтування довжини циклічної хвилі на основі подвоєної величини відповідного лагу. Зокрема, для всіх видів будівництва Харківської області спостерігаються високі від'ємні автокореляції для дво- і п'ятирічного лагів. Разом із тим (табл. 1), ця область, подібно як і більшість інших вибіркових об'єктів виявили високі додатні автокореляції для 7-річного інтервалу.

Таким чином, циклічність кризових явищу будівництва і відповідно активізації безпекових заходів становить 7 років, однак Харківська область характеризується додатковим зовнішнім навантаженням приватних господарський бізнес–циклів із періодичністю у 4(=2·2) і 10(=2·5) років. Тобто даний економічний регіон, що колись визнавався як високо індустріальний, проте із збереженим донині потужним автократичним регулюванням всіх рівнів економічної діяльності перебуває під двократним впливом загроз економічної безпеки. Диверсифікувати операційну діяльність будівельні підприємства цієї області, таким чином, мають у 2 рази частіше: замість 1 разу на 7 років, кожні 3,5 – 4 роки.

Навпаки, Львівська область, що характеризується більш «крафтовим», індивідуалізованим підходом до організації економічного устрою і особливою майстерністю будівельників, виявила меншу прогнозованість циклічних коливань економічних результатів. Лише вся її будівельна галузь демонструє високі автокореляції для 7–річного інтервалу значень індикатору економічної адаптації, проте величина ця (табл. 1) – від'ємна. До того ж зн від'ємні автокореляції спостерігаються в усіх відрізках, довших за 4 роки. Це дає підстави про припущення про 10–річний економічний цикл у будівництві Західного регіону України. Втім він супроводжується і короткочасними річними хвилями приватних циклів через високу величину автокореляція 1–річного лагу.

Довжина циклічних хвиль індикатору економічного управління суттєво відрізняється від попереднього індикатору (табл. 1), оскільки майже всі регіони виявили високі додатні автокореляції із 7–річним лагом, однак у 3-річному часовому відрізку не спостерігається жодного значимого зв'язку мж змінами структури операційних витрат. Крім того, більш, аніж у половини спостережень наявна висока автокореляція в 1–річному часовому проміжку, чим підтверджується поєднання дуже коротких та середньострокових коливань витратомісткості будівельної діяльності. Згідно табл. 1 індикатор економічного управління утричі частіше виявляє додатні високі значення, аніж від'ємні, тому припущення про більш тривалі періодичні коливання ділової активності можна сформулювати тільки для будівельних підприємств Київської та Львівської областей. У цих

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів автокореляції для індикаторів економічної безпеки (1), (2) підприємств будівництва Авторська розробка за даними Держстату України [12] за 2015–2024 рр.

Регіон	Вид будівництва	Коефіцієнт автокореляції із лагом						
		1 рік	2 роки	3 роки	4 роки	5 років	6 років	7 років
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Індикатор економічної адаптивності (1)								
Дніпропетровська обл.	Будівництво будівель	–0.013	–0.141	–0.289	–0.188	–0.549	0.020	0.687
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	0.225	–0.045	–0.063	0.280	–0.393	0.206	0.533
	Будівництво	0.568	0.157	–0.234	–0.186	–0.439	–0.022	0.479
Київська обл.	Будівництво будівель	0.484	0.614	0.889	0.426	–0.230	0.804	0.065
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	–0.374	0.087	0.537	–0.389	–0.236	0.817	–0.769
	Будівництво	–0.051	0.169	0.790	0.689	–0.052	–0.272	0.249
Львівська обл.	Будівництво будівель	0.443	–0.228	–0.525	–0.603	0.038	–0.210	–0.418
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	0.311	–0.315	–0.290	–0.300	–0.042	–0.699	–0.380
	Будівництво	0.583	0.018	–0.062	–0.518	–0.748	–0.828	–0.996
Одеська обл.	Будівництво будівель	0.212	0.137	0.199	0.290	–0.365	0.407	0.996
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	–0.325	–0.507	0.723	–0.072	–0.504	0.090	0.962
	Будівництво	–0.084	–0.279	0.462	0.311	0.011	–0.684	1.000
Харківська обл.	Будівництво будівель	–0.097	–0.715	0.553	0.102	–0.894	0.436	0.802
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	–0.075	–0.740	0.544	0.163	–0.842	0.571	0.882
	Будівництво	–0.126	–0.764	0.572	0.210	–0.926	0.376	0.909
М. Київ	Будівництво будівель	0.448	–0.072	–0.132	0.622	0.394	0.867	0.852
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	0.484	0.444	0.161	0.738	0.225	0.939	0.814
	Будівництво	0.500	0.158	0.365	0.450	0.185	0.989	0.955
Частка випадків високої (|R|>0,58 кореляції, %		5.6	22.2	16.7	22.2	22.2	44.4	66.7
Індикатор економічного управління (2)								
Дніпропетровська обл.	Будівництво будівель	0.626	0.043	–0.075	0.066	0.609	0.893	0.365
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	0.722	0.219	0.080	0.312	0.789	0.885	0.807
	Будівництво	0.900	0.616	0.019	0.270	0.480	0.819	0.993
Київська обл.	Будівництво будівель	0.530	0.346	0.195	–0.375	–0.339	–0.573	0.592
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	0.764	0.560	0.250	–0.496	–0.383	–0.728	0.552
	Будівництво	0.419	0.219	0.123	–0.025	–0.253	–0.925	0.778
Львівська обл.	Будівництво будівель	0.725	0.143	–0.203	–0.602	–0.775	–0.721	0.941
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	0.701	0.064	–0.354	–0.714	–0.783	–0.900	–0.027
	Будівництво	0.708	0.501	–0.437	–0.806	–0.547	–0.759	0.689

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Одеська обл.	Будівництво будівель	–0.183	–0.263	0.013	–0.170	–0.327	–0.168	0.983
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	–0.059	0.029	0.065	0.017	–0.166	–0.245	0.992
	Будівництво	–0.059	–0.257	–0.042	0.015	–0.518	–0.695	0.999
Харківська обл.	Будівництво будівель	0.655	0.096	0.254	0.282	0.057	0.248	0.980
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	0.681	0.240	0.370	0.439	0.165	0.225	0.996
	Будівництво	0.611	0.115	0.372	0.317	–0.048	0.209	0.981
М. Київ	Будівництво будівель	0.429	0.105	–0.327	–0.298	0.015	–0.021	0.883
	Будівництво житлових і нежитлових будівель	0.341	–0.007	–0.300	–0.231	0.026	0.070	0.878
	Будівництво	0.401	0.047	–0.332	–0.309	–0.114	–0.008	0.849
Частка випадків високої (|R|>0,58 кореляції, %		55.6	5.6	0.0	16.7	22.2	50.0	83.3

регіонах високі від'ємні автокореляції присутні у 4 – 6 річних лагах. Таким чином, складаються передумови для очікування повторюваних змін складових операційних витрат кожні 10±2 роки. Виконаний аналіз автокореляційних залежностей індикаторів економічної адаптації та економічного управління дозволив обґрунтувати вхідні змінні для нейро–нечіткої мережі, призначеної для середньострокового прогнозування циклічності заходів антикризового управління. Набори вхідних змінних виявились не однаковими:

Для індикатору економічної адаптації достатньо тільки 2 ретроспективних значення: x1 – лаг 6 років, x2 – лаг 7 років. При цьому x1 визначається трьома термами «високий», «середній», «низький», а x2 – тільки двома: «Високий» і «низький». Внаслідок повного перебору комбінацій термів входів кількість правил нечіткого логічного висновку, а отже і виходів алгоритму 6 (=3 варіанти x1 ·2 варіанти x2);

Індикатор економічного управління набагато точніше апроксимується алгоритмом, у якому не дві, а 3 лагових входи, оскільки до факторного набору попереднього, зберігаючи структуру обох терм–множин, доцільно додати ще одну, x3 – значення індикатору у попередньому періоді – двоелементну нечітку терм–множину із термами «високий» та «низький». Внаслідок цього кількість функцій належності вихідної змінної містить вдвічі більше термів із відповідними логічними правилами, тобто 12 (=3 варіанти x1 · 2 варіанти x2 · 2 варіанти x3);

Численні експерименти із проєктуванням та навчанням нейро–нечітких мереж різної складності для прогнозування значень кожного із індикаторів у наступному періоді дозволили визначити найкращим варіант із лінійними функціями належності термів виходів та дзвоноподібними для входів. Остаточне, дефаззифіковане значення сподіваної величини індикаторів економічної безпеки на наступний рік алгоритми визначають як середньозважене термів виходів, причому вагами слугують добутки функцій належності передумов відповідних правил. Хоча в алгоритмах нечіткого логічного висновку використовуються лінійні залежності, подібні до авторегресійних, розмаїття так званих регресійних коефіцієнтів та зважування проміжних результатів забезпечує значно вищу достовірність апроксимації, аніж «традиційний» метод найменших квадратів (рис. 2 а, б).

Так, обидва графіки демонструють порівняно менші помилки теоретичних значень для пікових рівнів індикаторів і у разі піднесення, і у випадку зменшення. Також у нейро–нечіткої мережі майже відсутня помилка, пов'язана із зсувом у часі повторюваних ознак волатильності. Звичайно інтерпретація лінійних залежностей для термів вихідної змінної значно ускладнюється і кількістю правил і широкою варіацією коефіцієнтів моделей, для алгоритму передбачення циклічності змін індикатору економічної адаптивності варта уваги залежність між 6 річним лагом, x1 (табл. 2), і виходом мережі (тобто y).

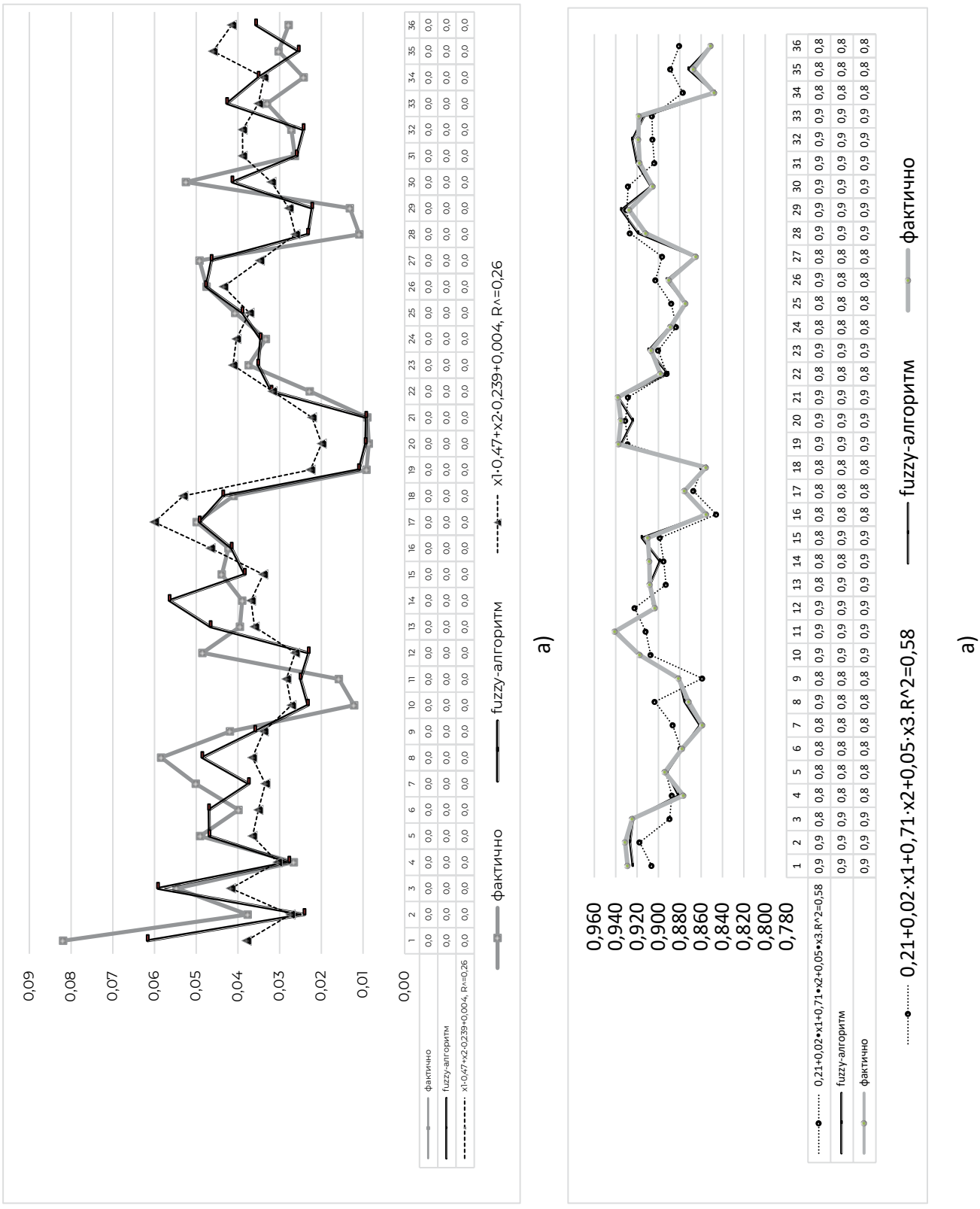


Рис. 2. Результати моделювання циклічності значень індикаторів економічної безпеки*:
а) в частині економічної адаптації; б) в частині економічного управління.

Джерело: розраховано авторами

**Примітка: номери спостережень послідовно відповідають значенням індикаторів в цілому по будівництву, для будівництва житлових і нежитлових будівель, для будівництва будівель. Відповідні «трійки» значень наводяться послідовно для 6 аналізованих регіонах (Дніпропетровська, Київська, Львівська, Одеська області, м. Київ) Номери спостережень з 1 по 18 відтворюють результати 2023, решта – 2024 р.*

Таблиця 2. База правил системи нечіткого логічного висновку для прогнозування індикатору економічної адаптації

Ч/ч	Якщо вхідні змінні*, значення індикатору:					то вихідна Y (значення індикатору у наступному році)
	на 6 років раніше, x1			на 7 років раніше, x2		
	Високий $\mu_1^h = \frac{1}{1+\left(\frac{x_1 - 0.090}{0.029}\right)^{2\cdot 2}}$	Середній $\mu_1^m = \frac{1}{1+\left(\frac{x_1 - 0.028}{0.029}\right)^{2\cdot 2}}$	Низький $\mu_1^l = \frac{1}{1+\left(\frac{x_1 - 0.011}{0.015}\right)^{2\cdot 2}}$	Високий $\mu_2^h = \frac{1}{1+\left(\frac{x_2 - 0.068}{0.013}\right)^{2\cdot 2}}$	Низький $\mu_2^l = \frac{1}{1+\left(\frac{x_2 - 0.030}{0.010}\right)^{2\cdot 2}}$	
1	–	X	–	–	X	$0.853 \cdot x1 + 7.569 \cdot x2 - 0.097$
2	X	–	–	–	X	$-0.407 \cdot x1 + 4.917 \cdot x2 - -0.2$
3	–	–	X	–	X	$2.897 \cdot x1 + 5.011 \cdot x2 - 0.365$
4	–	X	–	X	–	$0.883 \cdot x1 + -1.09 \cdot x2 - 0.218$
5	X	–	–	X	–	$-0.240 \cdot x1 - 5.964 \cdot x2 + 0{,}413$
6	–	–	X	X	–	$3.855 \cdot x1 - 2.365 \cdot x2 - 0.136$

Джерело: авторська розробка

**Примітка. В усіх логічних правилах терми передумов з'єднані логічної зв'язкою «ТА», яка реалізується у вигляді добутку передумов, тобто значень функцій належності кожного з термів, присутніх у правилі.*

А саме, для правил, у передумові яких наявний терм «середній», коефіцієнт біля x1 набуває значень 0,85 і 0,88, у той час, як інші константи виходів мають доволі широкий розмах варіації, набуваючи як додатних, так і від'ємних значень (табл. 2). Виявлена залежність дає змогу зробити висновок, що питома вага інших операційних доходів у сумарному за відсутності впливу інших факторів економічного середовища зменшується на 15%, у порівнянні із значенням, досягнутим нею на 6 років раніше дати прогнозу. Прозорість алгоритмів нечіткого логічного висновку, одержаних в результаті дослідження, дає змогу здійснити їх програмну реалізацію із використанням загальнодоступних офісних застосунків на основі табличних процесорів. Отже, засоби штучного інтелекту можна використовувати із більшою ефективністю, усвідомлюючи складові кожного з етапів обґрунтування вихідної відповіді, оскільки при цьому виявляються приховані взаємозв'язки економічних процесів і явищ.

Висновки. Управління економічною безпекою будівельних підприємств передбачає періодичне здійснення низки регуляторних стабілізаційних заходів у відповідності до циклічних коливань макрооточення бізнесу. Циклічні економічні коливання здійснюють хвилеподібний вплив на економічну стійкість будівельних підприємств із періодом у 6 років. Одночасно дестабілізаційні загрози можуть додатково посилюватись 2–річними приватними господарськими бізнес–циклами. Для регіонів, яким меншою мірою притаманні жорсткий, авторитарний тип управління економічними процесами, тривалість циклів може подовжуватись, але якою мірою дестабілізуючий вплив відкладається у часі залишається предметом подальших досліджень. Застосування нейромережевих технологій дало змогу сформулювати «емпіричне» правило циклічності змін економічної безпеки суб'єктів будівництва: якщо рівень диверсифікації доходів будівельного підприємства можна визначити як середній, то через 6 років варто очікувати 15%–ве зниження частки інших операційних доходів у сумарному за відсутності впливу несприятливих чинників зовнішнього середовища. Втім, верифікація даного висновку в розрізі видів будівництва, розташування і розміру підприємств також визначають перспективи досліджень підтримки економічної безпеки в умовах циклічних коливань макрорівня.

Література

1. Гудзь Т. П. Методологія дослідження циклічності розвитку соціально-економічної системи проактивним антикризовим управлінням у безпековому вимірі. *Формування сталих соціально-економічних систем: міжнародні, національні та локальні аспекти розвитку* : колективна монографія / за заг. ред. В. Ю. Медвідь, Д. В. Дячкова, О. А. Галича, О. В. Калініченка, В. С. Лесюка. Полтава : ПП «Астрая», 2026. С. 153–176. URL: http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/16343

2. Іванісов О. В., Ачкасова О. В. Закономірності розвитку соціально-економічних систем. *Ефективна економіка*. 2026. № 1. DOI: http://doi.org/10.32702/2307-2105.2026.1.51

3. Локтіонова Я. Методи й інструменти антициклічного управління в будівництві – соціальний аспект. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. № 3(55). С. 315–326. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(3).315-326
4. Любчак В., Кубатко О., Барченко Н., Калініченко Л. & Мартинова Н. (2025). Моделювання бізнес-циклів у сфері відновлювальної енергетики України: підходи фільтрації та прогнозування. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Економічні науки»*. 2025. № 3 (117). С. 47–55. DOI: https://doi.org/10.37734/2409-6873-2025-3-6
5. Михайлов В., Кулинич Р., Неділько В. Соціально-економічні цикли: теоретична візія та статистичні оцінки. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2025. № 340(2). С. 230–240. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-340-37
6. Мотурнак Є. Економічна безпека через призму нелінійної динаміки: атрактори, персистентність, ранні сигнали. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 4 (55). С. 572–579. DOI: https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-55-77
7. Титок В., Локтіонова Я. Соціальний захист підприємства: теоретико-методологічні аспекти антициклічного управління та економічної безпеки. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. № 3(56) С. 68–79. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).68-79
8. Федун І.Л. Економічна безпека та стійкість суб'єктів господарювання в умовах циклічності. *Нові технології в будівництві*. 2025. № 46. С. 112–119. DOI: https://doi.org/10.32782/2664-0406.2025.46.13
9. Хоманець В. Глобальна дифузія кризових процесів та синхроніхація національних економічних циклів в умовах фінансового глобалізму. *Економіка та суспільство*. 2025. № 79. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-79-33
10. Шокотько О. Прогнозування економічного циклу як інструмент розробки антициклічної політики та забезпечення економічної безпеки будівельних підприємств. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. № 3(56). С. 122–128. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).122-128
11. П(С)БО 3 Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 3 Звіт про фінансові результати – Законодавство України 2019 рік, Пункт 21 із змінами, внесеними згідно з Наказами Мінфіну.
12. Фінансові результати підприємств (річна) | Державна служба статистики України. URL: https://stat.gov.ua/uk/datasets/finansovi-rezultaty-pidpryyemstv-richna

References

1. Hudz T. P. (2026). *Metodolohiia doslidzhennia tsyklichnosti rozvytku sotsialno-ekonomichnoi systemy proaktyvnym antykryzovym upravlinniam u bezpekovomu vymiri* [Methodology of research on the cyclicality of the socio-economic system development by proactive anti-crisis management in the security dimension]. In V. Yu. Medvid, D. V. Diachkov, O. A. Halych, O. V. Kalinichenko, & V. S. Lesiuk (Eds.), Formuvannia stalykh sotsialno-ekonomichnykh system: mizhnarodni, natsionalni ta lokalni aspekty rozvytku: kolektyvna monohrafiia (pp. 153–176). PP "Astraia". http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/16343
2. Ivanisov O. V. & Achkasova O. V. (2026). Zakonomirnosti rozvytku sotsialno-ekonomichnykh system [Regularities of development of socio-economic systems]. *Efektyvna Ekonomika*, (1). https://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/38703
3. Loktionova Ya. (2025). Metody i instrumenty antytsyklichnoho upravlinnia v budivnytstvi – sotsialnyi aspekt [Methods and tools of anti-cyclical management in construction – social aspect]. *Ways to Increase Construction Efficiency,* 3(55), 315–326. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(3).315-326
4. Liubchak V., Kubatko O., Barchenko N., Kalinichenko L. & Martynova N. (2025). Modeliuvannia biznes-tsykliv u sferi vidnovliuvalnoi enerhetyky Ukrainy: pidkhody filtratsii ta prohnozuvannia [Business cycle modeling in the field of renewable energy of Ukraine: Filtering and forecasting approaches]. *Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade. Series: Economic Sciences,* (3 (117)), 47–55. https://doi.org/10.37734/2409-6873-2025-3-6
5. Mykhailov V., Kulynych R. & Nedilko V. (2025). Sotsialno-ekonomichni tsykly: teoretychna viziia ta statystychni otsinky [Socio-economic cycles: Theoretical vision and statistical estimates]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences,* 340(2), 230–240. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-340-37
6. Moturnak Ye. (2025). Ekonomichna bezpeka cherez pryzmu nelineinoi dynamiky: atraktory, persystentnist, ranni syhnaly [Economic security through the prism of non-linear dynamics: Attractors, persistence, early signals]. *Sustainable Development of Economy,* (4 (55)), 572–579. https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-55-77
7. Tytok V. & Loktionova Ya. (2025). Sotsialnyi zakhyst pidpryiemstva: teoretyko-metodolohichni aspekty antytsyklichnoho upravlinnia ta ekonomichnoi bezpeky [Social protection of the enterprise: Theoretical and methodological aspects of anti-cyclical management and economic security]. *Ways to Increase Construction Efficiency,* 3(56), 68–79. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).68-79
8. Fedun I. L. (2025). Ekonomichna bezpeka ta stiikist subiektiv hospodariuvannia v umovakh tsyklichnosti [Economic security and sustainability of economic entities in conditions of cyclicality]. *New Technologies in Construction*, 46, 112–119. https://doi.org/10.32782/2664-0406.2025.46.13
9. Khomanets V. (2025). Hlobalna dyfuziia kryzovykh protsesiv ta synkhronizatsiia natsionalnykh ekonomichnykh tsykliv v umovakh finansovoho hlobalizmu [Global diffusion of crisis processes and synchronization of national economic cycles under financial globalism]. *Economy and Society,* 79. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-79-33
10. Shokotko O. (2025). Prohnozuvannia ekonomichnoho tsyklu yak instrument rozrobky antytsyklichnoi polityky ta zabezpechennia ekonomichnoi bezpeky budivelnykh pidpryiemstv [Forecasting the economic cycle as a tool for developing anti-cyclical policy and ensuring the economic security of construction enterprises]. *Ways to Increase Construction Efficiency,* 3(56), 122–128. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).122-128
11. Ministry of Finance of Ukraine. (2019). Polozhennia (standart) bukhhalterskoho obliku 3 "Zvit pro finansovi rezultaty" [Regulation (Standard) of Accounting 3 "Statement of Financial Performance"]. Legislation of Ukraine, Paragraph 21 (with amendments).
12. State Statistics Service of Ukraine. (2026). Finansovi rezultaty pidpryiemstv (richna) [Financial results of enterprises (annual)]. https://stat.gov.ua/uk/datasets/finansovi-rezultaty-pidpryyemstv-richna

ECONOMIC SECURITY OF CONSTRUCTION ENTERPRISES AS AN INDICATOR OF THE PHASES OF THE BUSINESS CYCLE

Abstract. *The study focuses on examining the cyclical patterns of destabilizing effects of threats to the economic security of construction companies. It justifies the priority of using relative coefficients of financial results structure to ensure comparability of time series levels of economic security indicators. It provides an economic interpretation of indicators of economic adaptation and economic management in the context of countercyclical monitoring of the economic security of construction companies. The cyclical patterns of economic security indicators in the construction business are identified. The retrospective research period and the spatial location of the time series observation samples of the indicators have been reasonably justified. The recurring intensity of destabilizing factors on economic security and the unsuitability of 'traditional' trend models for predicting cyclical fluctuations in the economic stability of construction participants have been established. A specific example demonstrated the low effectiveness of well-known methods for decomposing the trend and cyclical components of time series levels. The feasibility of using neural network modeling of parameters in autoregressive predictive models to reduce the volatility of construction financial results has been established. A detailed analysis of the autocorrelation patterns in the cyclical dynamics of construction economic security indicators was carried out, which made it possible to identify a 6-year cycle in income structure changes and 2- and 6-year cycles in expenditure structure changes. The set of inputs for the neuro-fuzzy inference algorithms, types, and parameters of membership functions for input and output variables were refined: bell-shaped functions for input terms and two- and three-factor linear autoregressions for outputs. At the same time, the algorithm for the economic management indicator included a larger knowledge base for the fuzzy algorithm due to an additional input indicating short-term 2-year economic cycles. The higher approximation accuracy of hybrid neuro-fuzzy inference algorithms compared to multifactor linear regression models was demonstrated.*

Key words: economic security, cyclicality of the economy, economic adaptation indicator, economic management indicator, digitalization, competitiveness, sustainable development, anti-cyclical management, anti-crisis management, autocorrelation coefficient, lag, trend equation, fuzzy algorithm, membership function, construction company.

A. F. Goyko
Candidate of Economic Sciences, Professor,
Professor of the Department of Construction Economics,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

L. V. Sorokina
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor of the Department of Construction Economics,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

V. M. Lych
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Head of the Department of Construction Economics,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Дата першого надходження статті до видання: 22.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 658.1:330.131.7:69.003
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.18

Ратніков Д. Г.
к.е.н.,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0009-0006-0024-5384

ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРАТИВНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ЕКОНОМІЧНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНОГО ДЕВЕЛОПМЕНТУ

Анотація. *У статті розглянуто інтегративний підхід як сучасну методологію комплексного дослідження складних економічних систем та визначено особливості його застосування для діагностики економічної спроможності підприємств у мультипроєктному середовищі будівельного девелопменту. Узагальнено еволюцію розвитку інтегративного підходу в економічній науці, охарактеризовано його основні принципи, напрями інтеграції та методологічне значення для сучасних економічних досліджень. Показано, що традиційні методи економічної діагностики, які переважно базуються на аналізі фінансових показників, не забезпечують комплексного оцінювання діяльності підприємств будівельного девелопменту в умовах одночасної реалізації взаємопов'язаних проєктів.*

Запропоновано авторське трактування інтегративної діагностики економічної спроможності підприємств як сучасного методологічного підходу до комплексного оцінювання, що ґрунтується на поєднанні різних наукових концепцій, моделей, методів дослідження та інформаційних джерел з урахуванням структури мультипроєктного портфеля, стадій життєвого циклу проєктів, рівня ризиків і впливу зовнішнього середовища. Визначено, що інтегративна діагностика передбачає системне поєднання фінансового, інвестиційного, ресурсного, процесного, цифрового, ризик-орієнтованого та ESG-підходів у межах єдиного інформаційно-аналітичного середовища. Сформовано систему інтегративних індикаторів діагностики економічної спроможності підприємств, яка охоплює фінансову стійкість, ліквідність, ресурсну ефективність, ефективність мультипроєктного портфеля, інвестиційну та інноваційну спроможність, операційну результативність, ризикостійкість, організаційно-управлінську й цифрову зрілість, ESG-результативність і стратегічну адаптивність. Зазначено, що запропоновані положення можуть бути використані як методологічна основа подальшого розроблення інтегральних моделей діагностики економічної спроможності підприємств будівельного девелопменту.

Ключові слова: підприємство, економічна діагностика, економічна стійкість, стратегічне управління, будівельний девелопмент, мультипроєктне управління, інтегральне оцінювання, сталий розвиток, цифрова трансформація.о.

Потановка проблеми. Підприємства будівельного девелопменту функціонуть як складна мультипроєктна економічна система, а управлінські рішення приймаються фрагментарно, на основі розрізнених інформаційних потоків, критеріїв та моделей. Внаслідок цього виникає неузгодженість економічних рішень, ресурсів, ризиків, календарних планів, фінансових потоків і цілей окремих проєктів.

Інтегративний підхід являє собою сучасну методологічну концепцію наукового пізнання, відповідно до якої складні соціально-економічні, технічні, організаційні та управлінські системи досліджуються як цілісні багаторівневі утворення, функціонування яких визначається не окремими елементами, а характером взаємозв'язків, взаємодії та взаємозумовленості між ними. На відміну від традиційного аналітичного підходу, що ґрунтується на декомпозиції об'єкта дослідження на ізольовані складові, інтегративний підхід виходить із принципу цілісності (holism), відповідно до якого властивості системи не можуть бути повністю пояснені лише сукупністю властивостей її окремих компонентів.

У центрі дослідження перебуває не окремий показник чи процес, а інтегральна архітектура взаємодії економічних, організаційних, технологічних, інформаційних, соціальних, екологічних та інституційних компонентів.

Методологічне підґрунтя інтегративного підходу сформувалося на стику загальної теорії систем, синергетики, кібернетики, інституціональної економіки, теорії складних адаптивних систем, стратегічного менеджменту, теорії організацій, мережевої економіки та сучасної методології міждисциплінарних досліджень. Основна ідея полягає у визнанні того, що реальні економічні процеси мають нелінійний характер, характеризуються численними прямими та зворотними зв'язками, багатофакторністю, високою динамічністю та виникненням синергетичних ефектів, які не можуть бути адекватно описані в межах ізольованого аналізу окремих функціональних сфер.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових публікацій засвідчує, що проблема інтегративного підходу в сучасній економічній методології формується на перетині системної теорії, міждисциплінарних досліджень, інтегрованого оцінювання, сталого розвитку, ESG-управління, цифрової трансформації та багатокритеріального моделювання.

Еволюція інтегративних моделей діагностики економічної спроможності підприємств відображає закономірний перехід від оцінювання окремих економічних показників до комплексного аналізу підприємства як відкритої багаторівневої соціально-економічної системи. Теоретичне підґрунтя цього напряму було закладено у працях Г. Саймона [1], який обґрунтував системний характер управлінських рішень, та Дж. Форрестера [2], який розвинув методологію системної динаміки для дослідження складних економічних систем. У праці Г. Міджлі [3] інтегративна логіка розкривається через розуміння будь-якого об'єкта як системи взаємопов'язаних елементів, властивості якої не можуть бути пояснені лише через ізольований аналіз окремих компонентів.

Подальший розвиток пов'язаний із роботами М. Портера [4], який інтегрував внутрішні фактори ефективності підприємства із зовнішнім конкурентним середовищем через концепції конкурентних сил і ланцюга створення вартості. Важливим етапом стали праці Р. Каплана та Д. Нортона [6], у яких сформовано інтегровану систему стратегічної діагностики на основі фінансових і нефінансових показників. Значний внесок у розвиток моделей комплексного оцінювання діяльності мультипроєктних організацій зробив Г. Керцнер [8], який обґрунтував системний підхід до управління портфелями проєктів, ресурсами та ризиками. Важливе теоретичне значення має праця J. T. Klein [9], у якій міждисциплінарність обґрунтовується як відповідь науки на складні проблеми, що не можуть бути достатньо пояснені в межах однієї дисципліни. Для дослідження інтегративного підходу це є принциповим, оскільки економічна спроможність підприємств будівельного девелопменту не може бути адекватно оцінена лише інструментами фінансового аналізу; вона потребує поєднання економіки, менеджменту, проєктного управління, цифрових технологій, ESG-аналітики, ризик-менеджменту та інституціонального аналізу [5, 7]. Подальший розвиток інтегративної методології пов'язаний із концепціями бізнес-моделювання, зокрема працями А. Остервальдера та І. Піньє [10], які представили підприємство як систему взаємопов'язаних елементів створення цінності. У статтях українськиих дослідників [11–12] запропоновано інтегровану модель оцінювання сталості на основі поєднання AHP, PCA та DEA. Значення цієї публікації полягає в тому, що вона демонструє можливість методичного синтезу різних інструментів для комплексного вимірювання результативності та підтверджує доцільність поєднання нормування показників, визначення ваг, багатокритеріального ранжування та інтегрального індексування при оцінюванні економічної спроможності підприємств. Узагальнення сучасних підходів знайшло відображення у роботах [13–14, 16–17], де інтегроване управління мультипроєктним середовищем поєднує фінансові, виробничі, часові, ресурсні, ризикові та організаційні компоненти. Публікація OECD [15] поглиблює розуміння інтегративного підходу через категорії нелінійності, міжсекторної взаємодії, складності та подолання інституційних «силосів». У ній системне мислення розглядається як методологія, що дозволяє враховувати зв'язки між проблемами, які традиційно аналізуються окремо. Для економічних досліджень це означає перехід від фрагментарної оцінки окремих показників до комплексного аналізу взаємодії

ринку, державної політики, галузевих умов, корпоративної стратегії, інвестиційних рішень і проєктної результативності.

Узагальнення цих публікацій дозволяє зробити висновок, що інтегративний підхід у сучасній економічній науці поступово трансформувався від загальносистемної методології до прикладного інструментарію комплексної економічної діагностики. Його еволюція відбувається за кількома взаємопов'язаними напрямами: від системного бачення об'єкта до міждисциплінарного синтезу методів; від аналізу окремих фінансових показників до інтегрального оцінювання; від традиційного управління до цифрово-платформної координації; від економічної ефективності до ESG-орієнтованої стійкості; від фрагментарного ризик-менеджменту до комплексної оцінки адаптивності підприємства. Для підприємств будівельного девелопменту це означає, що інтегративний підхід має розглядатися не як допоміжний аналітичний прийом, а як повноцінна методологічна основа побудови моделей економічної діагностики, оцінювання економічної спроможності та підтримки стратегічних управлінських рішень у мультипроєктному, цифровому та ESG-орієнтованому середовищі. Еволюція наукових підходів створила методологічну основу для розроблення сучасних інтегративних моделей діагностики економічної спроможності підприємств будівельного девелопменту, які базуються на системному поєднанні економічних, управлінських, інвестиційних, цифрових та проєктних характеристик функціонування підприємства в умовах мультипроєктного середовища.

Метою статті є розвиток теоретико-методологічних засад інтегративної діагностики економічної спроможності підприємств у мультипроєктному середовищі будівельного девелопменту шляхом обґрунтування її концептуальної сутності, принципів, напрямів інтеграції, структурної архітектури та системи інтегративних індикаторів як інформаційно-аналітичної основи прийняття стратегічних управлінських рішень.

Результати досліджень. З позицій сучасної економічної науки інтегративний підхід означає об'єднання різнорідних теоретичних концепцій, моделей, методів дослідження, інформаційних джерел та аналітичних інструментів у єдину узгоджену методологічну систему, здатну забезпечити комплексне пояснення складних економічних явищ. При цьому інтеграція не зводиться до механічного поєднання окремих елементів, а передбачає їх системне узгодження, функціональну взаємодію та формування нових властивостей, які виникають саме внаслідок інтеграції.

На концептуальному рівні інтегративний підхід базується на кількох фундаментальних принципах:

– системної цілісності. Будь-який об'єкт дослідження розглядається як відкрита система, яка взаємодіє із зовнішнім середовищем, адаптується до його змін та перебуває у постійному розвитку. Економічна ефективність, конкурентоспроможність, інноваційний потенціал або інвестиційна привабливість підприємства є не самостійними характеристиками, а результатом взаємодії численних внутрішніх і зовнішніх факторів;

– принцип багаторівневої інтеграції. Дослідження здійснюється одночасно на декількох рівнях економічної системи: макроекономічному, галузевому, регіональному, корпоративному, проєктному, процесному та операційному. Такий підхід дозволяє встановити взаємозв'язок між глобальними тенденціями розвитку економіки, галузевими особливостями та результатами діяльності окремого підприємства;

– принцип міждисциплінарності. Інтегративний підхід передбачає використання знань різних наукових напрямів: економіки, менеджменту, фінансів, інформаційних технологій, системного аналізу, математичного моделювання, екології, соціології, поведінкової економіки, логістики, проєктного менеджменту та інших дисциплін. Міждисциплінарність забезпечує можливість комплексного аналізу сучасних економічних процесів;

– принципом взаємозалежності компонентів системи. Будь-яка зміна окремого елемента економічної системи впливає на функціонування інших складових. Наприклад, цифровізація підприємства одночасно змінює структуру бізнес-процесів, систему управління персоналом, фінансові результати, екологічні показники, ризики та конкурентні переваги;

– принцип синергетичності. У процесі інтеграції різних елементів виникає додатковий ефект, який перевищує суму окремих результатів їх функціонування. Синергетичний ефект пояснює, чому інтегровані управлінські системи демонструють вищу ефективність порівняно із системами, побудованими за функціонально-ізольованим принципом;

– принцип адаптивності, який передбачає здатність інтегрованої системи змінювати власну структуру, параметри функціонування та механізми управління відповідно до змін зовнішнього середовища. В умовах цифрової трансформації, глобалізації, воєнних ризиків, кліматичних змін та високої ринкової невизначеності саме адаптивність стає одним із ключових факторів довгострокової стійкості економічних систем.

У сучасній економічній методології інтегративний підхід реалізується одночасно за декількома напрямами інтеграції.

Передусім відбувається інтеграція інформації, коли для оцінювання економічних процесів використовуються фінансові, виробничі, технологічні, екологічні, соціальні, цифрові та ринкові дані. Такий підхід забезпечує значно вищий рівень достовірності управлінських рішень порівняно з використанням лише фінансової звітності.

Важливим проявом розвитку інтегративної методології є перехід від аналізу окремих економічних показників до формування інтегральних індексів, які синтезують сукупність взаємопов'язаних характеристик у єдину систему оцінювання. Такі моделі набули широкого застосування при визначенні економічної спроможності підприємств, конкурентоспроможності, інвестиційної привабливості, цифрової зрілості, рівня сталого розвитку та результативності ESG-трансформацій. Одночасно відбувається інтеграція методичного інструментарію, що передбачає поєднання економіко-статистичних і економетричних методів, багатокритеріального моделювання, нечіткої логіки, машинного навчання, системної динаміки, мережевого аналізу, експертного оцінювання та сценарного прогнозування, що забезпечує комплексне врахування кількісних і якісних характеристик економічних процесів та підвищує достовірність результатів діагностики. Закономірним продовженням цього процесу стала інтеграція управлінських функцій, у межах якої планування, організація, мотивація, контроль, управління ризиками, інноваціями, якістю, цифровими технологіями та сталим розвитком розглядаються як взаємопов'язані складові єдиної системи управління, орієнтованої на забезпечення довгострокової економічної спроможності підприємства.

Інтегративний підхід набув у сучасній теорії сталого розвитку, де інтегруються економічні, соціальні та екологічні складові розвитку підприємств. Саме інтегративна логіка лежить в основі ESG-концепції, подвійної суттєвості (Double Materiality), інтегрованої корпоративної звітності, циркулярної економіки, цифрової трансформації та біосферосумісного розвитку. У цих концепціях економічна ефективність більше не розглядається ізольовано від соціальної відповідальності, екологічної безпеки, корпоративного управління та довгострокової стійкості бізнесу.

Для підприємств будівельного девелопменту інтегративний підхід набуває особливого значення через специфіку галузі, яка характеризується мультипроєктністю, багаторівневою структурою управління, значною кількістю стейкхолдерів, високою капіталомісткістю, тривалими інвестиційними циклами та підвищеною невизначеністю. У таких умовах ефективність діяльності визначається не окремими фінансовими показниками, а результатом узгодженої взаємодії інвестиційних, виробничих, проєктних, логістичних, інформаційних, цифрових, екологічних, соціальних і управлінських підсистем, що дозволяє сформувати єдину систему економічної діагностики, у якій фінансові результати оцінюються у взаємозв'язку з операційною результативністю, реалізацією інвестиційних проєктів, цифровою зрілістю, ESG-показниками, ризиками, інноваційною активністю, якістю корпоративного управління та стійкістю бізнес-моделі.

На методичному рівні застосування інтегративного підходу передбачає побудову комплексної моделі, що охоплює визначення системи критеріїв оцінювання, нормування різнорідних показників, встановлення вагових коефіцієнтів, урахування взаємозалежностей між показниками, інтегрування локальних індикаторів у комплексні критерії та подальше агрегування у єдиний інтегральний показник. Водночас інтегральний індекс не є простою сумою окремих оцінок, а відображає системний результат взаємодії всіх компонентів економічної системи.

Інтегративний підхід у сучасній економічній науці слід розглядати як універсальну методологію комплексного дослідження складних економічних систем, що забезпечує синтез різнорідних знань, методів, інформаційних ресурсів, моделей та управлінських механізмів у межах єдиної концептуальної платформи. Його головною перевагою є можливість переходу від фрагментарного аналізу

Таблиця 1. Структурна характеристика інтегративного підходу як методології комплексної економічної діагностики підприємств

Напрям інтеграції	Зміст	Методологічне значення	Прояв у будівельному девелопменті	Результат
Інтеграція інформації	Об'єднання різнорідних даних	Комплексна економічна діагностика	Інтеграція фінансових, проєктних, цифрових та ESG-даних	Обґрунтовані рішення
Інтеграція показників	Інтегральні індекси	Комплексне оцінювання	Індекс економічної спроможності	Рейтингування
Інтеграція методів	Поєднання кількісних і якісних методів	Достовірність оцінювання	Економетричні й багатокритеріальні моделі	Якість діагностики
Інтеграція управління	Узгодження функцій	Єдиний механізм управління	Координація ресурсів і ризиків	Ефективність управління
Інтеграція складових сталого розвитку	Економічні, соціальні та екологічні аспекти	Основа ESG	Енергоефективність і декарбонізація	Стійкий розвиток
Інтеграція рівнів управління	Макро-, галузевий і корпоративний рівні	Системне бачення	Узгодження політики і проєктів	Стратегічна узгодженість
Інтеграція проєктного управління	Поєднання проєктних і корпоративних цілей	Портфельне управління	Балансування проєктів	Оптимізація портфеля
Інтеграція цифрових технологій	BIM, ERP, CRM, PMIS	Цифровізація діагностики	Моніторинг ресурсів і ESG	Прозорість
Інтеграція ризиків	Комплексне оцінювання ризиків	Підвищення стійкості	Управління фінансовими та ESG-ризиками	Адаптивність
Інтеграція результатів	Комплексна модель	Інтегральна оцінка	Єдина система діагностики	Стратегічні рішення

Джерело: авторська розробка

окремих економічних процесів до цілісного дослідження закономірностей функціонування й розвитку підприємств, врахування синергетичних ефектів, нелінійних взаємозв'язків, багаторівневої структури економічних систем та забезпечення науково обґрунтованого інформаційно-аналітичного підґрунтя для прийняття стратегічних управлінських рішень. Інтегративний підхід сьогодні розглядається як одна з найбільш перспективних методологічних основ формування комплексних моделей економічної діагностики, оцінювання економічної спроможності, управління розвитком підприємств та забезпечення їх довгострокової конкурентоспроможності в умовах цифрової трансформації, сталого розвитку та мультипроєктного середовища.

Узагальнення сучасних наукових підходів свідчить, що інтеграція в економічних дослідженнях поступово трансформувалася з окремого методичного прийому у самостійну методологічну парадигму, орієнтовану на комплексне дослідження складних соціально-економічних систем. Особливої актуальності такий підхід набуває в будівельному девелопменті, де підприємство функціонує в умовах одночасної реалізації великої кількості взаємопов'язаних проєктів, високої капіталомісткості, тривалих інвестиційних циклів, значної кількості стейкхолдерів і високого рівня ризиків. За цих умов традиційні методи економічної діагностики, що базуються на аналізі окремих фінансових або виробничих показників, уже не забезпечують достатньої

повноти інформації для обґрунтування управлінських рішень. Це обумовлює необхідність переходу до інтегративної діагностики, яка ґрунтується на системному поєднанні різнорідних джерел інформації, взаємодоповнювальних методів аналізу та комплексному оцінюванні економічної спроможності підприємства як цілісної динамічної системи.

Інтегративна діагностика економічної спроможності підприємств у мультипроєктному середовищі будівельного девелопменту – це сучасний методологічний підхід до комплексного оцінювання економічної спроможності підприємства, який поєднує різні науково обґрунтовані концепції, методи, моделі та інформаційні джерела з урахуванням специфіки функціонування підприємства, структури його мультипроєктного портфеля, стадії життєвого циклу проєктів і впливу зовнішнього середовища. Інтегративна діагностика не є окремим методом економічного аналізу. На відміну від традиційних підходів, що ґрунтуються переважно на використанні фінансових показників або окремих груп індикаторів, вона передбачає цілеспрямоване поєднання взаємодоповнювальних інструментів економічної діагностики залежно від поставленої управлінської задачі, рівня невизначеності, характеру ризиків і особливостей реалізації девелоперських проєктів.

Залежно від цілей дослідження інтегративна діагностика може поєднувати фінансовий, інвестиційний, ресурсний, процесний, проєктний, ризик-орієнтований, стейкхолдерський, цифровий та ESG-підходи, використовуючи економіко-статистичні, економетричні, багатокритеріальні, експертні, імітаційні та інтелектуальні методи моделювання. При цьому оцінюються не лише фінансові результати діяльності підприємства, а й ефективність використання ресурсів, інноваційний потенціал, якість управління проєктами, цифрова зрілість, інвестиційна привабливість, рівень ризиків, здатність до адаптації та довгострокового створення економічної цінності.

Інтегративний підхід ґрунтується на принципах системності, комплексності, багаторівневості, адаптивності, міждисциплінарності та інформаційної інтеграції. Підприємство розглядається як відкрита соціально-економічна система, у межах якої економічні, виробничі, організаційні, технологічні, інвестиційні, цифрові, екологічні та соціальні процеси перебувають у постійній взаємодії. Об'єктом діагностики виступають не окремі показники, а взаємозв'язки між ними, що визначають економічну спроможність підприємства в умовах реалізації множини взаємопов'язаних будівельних проєктів.

Практична реалізація інтегративної діагностики передбачає послідовне формування єдиного інформаційно-аналітичного середовища, інтеграцію різнорідних даних, побудову системи взаємопов'язаних індикаторів, застосування комплексу взаємодоповнювальних методів аналізу та формування інтегральної оцінки економічної спроможності підприємства, що забезпечує не лише об'єктивне визначення поточного економічного стану, а й своєчасне виявлення внутрішніх диспропорцій, прогнозування наслідків управлінських рішень, оптимізацію розподілу ресурсів між проєктами та підвищення стійкості підприємства до впливу зовнішніх і внутрішніх ризиків.

Інтегративна діагностика виступає не окремим інструментом оцінювання, а цілісною методологією інформаційно-аналітичного забезпечення управління, яка шляхом інтеграції різних концептуальних підходів, методів, показників і джерел інформації забезпечує всебічне оцінювання економічної спроможності підприємств будівельного девелопменту в умовах мультипроєктного середовища та створює наукове підґрунтя для прийняття стратегічно обґрунтованих управлінських рішень.

Висновки. Інтегративний підхід у сучасній економічній науці трансформувався із загальносистемної методології у комплексну методологічну платформу дослідження складних соціально-економічних систем, яка забезпечує синтез різнорідних концепцій, інформаційних ресурсів, методів аналізу та управлінських інструментів у межах єдиної інформаційно-аналітичної системи. Доведено, що для підприємств будівельного девелопменту, які функціонують у мультипроєктному середовищі, інтегративний підхід є необхідною умовою формування об'єктивної економічної діагностики, оскільки дозволяє враховувати взаємозв'язки між фінансовими, інвестиційними, виробничими, цифровими, екологічними, соціальними та організаційними складовими економічної спроможності підприємства.

Обґрунтовано авторське трактування інтегративної діагностики економічної спроможності підприємств як сучасної методології комплексного оцінювання, що базується на системному поєднанні різнорідних інформа-

Таблиця 2. Склад та економічний зміст інтегративних індикаторів діагностики економічної спроможності підприємств

Інтегративний індикатор	Економічний зміст
Фінансова стійкість	Характеризує здатність підприємства підтримувати платоспроможність, фінансову незалежність і стабільність структури капіталу.
Ліквідність і платоспроможність	Відображає можливість своєчасного виконання коротко- та довгострокових фінансових зобов'язань.
Ресурсна ефективність	Оцінює результативність використання трудових, матеріальних, фінансових та технічних ресурсів.
Ефективність мультипроєктного портфеля	Характеризує збалансованість реалізації проєктів за строками, бюджетом, ресурсами та створенням вартості.
Інвестиційна спроможність	Відображає здатність підприємства залучати й ефективно використовувати інвестиційний капітал для розвитку.
Операційна результативність	Визначає ефективність основних бізнес-процесів, продуктивність діяльності та рівень виконання проєктів.
Ризикостійкість	Характеризує здатність підприємства протидіяти фінансовим, проєктним, ринковим і операційним ризикам.
Організаційно-управлінська зрілість	Відображає рівень розвитку системи управління, координації мультипроєктної діяльності та прийняття рішень.
Цифрова зрілість	Оцінює рівень цифровізації управління, використання BIM, ERP, CRM, цифрових платформ і аналітичних систем.
Інноваційна спроможність	Відображає здатність підприємства створювати, впроваджувати й комерціалізувати інновації.
ESG-результативність	Характеризує рівень інтеграції екологічних, соціальних та управлінських принципів у діяльність підприємства.
Стратегічна адаптивність	Відображає здатність підприємства адаптуватися до змін зовнішнього середовища, забезпечувати довгострокову конкурентоспроможність і економічну спроможність.

Джерело: авторська розробка

ційних джерел, взаємодоповнювальних методів дослідження, інтегральних показників та багаторівневого аналізу з урахуванням специфіки мультипроєктного будівельного девелопменту. Визначено концептуальні принципи реалізації інтегративного підходу, охарактеризовано основні напрями інтеграції та запропоновано систему інтегративних індикаторів діагностики економічної спроможності підприємств, яка формує методологічне підґрунтя для побудови комплексних моделей оцінювання, інформаційно-аналітичного забезпечення стратегічного управління та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язати з розробленням економіко-математичної інтегративної моделі діагностики економічної спроможності підприємств будівельного девелопменту, обґрунтуванням системи вагових коефіцієнтів інтегративних індикаторів, побудовою інтегрального індексу економічної спроможності, а також проведенням його практичної апробації на підприємствах будівельної галузі в умовах цифрової трансформації, реалізації ESG-принципів та післявоєнного відновлення економіки України. Такий напрям досліджень створює передумови для формування цілісної інформаційно-аналітичної системи підтримки стратегічного управління підприємствами будівельного девелопменту в мультипроєктному середовищі.

Література

1. Simon H. A. (1960). *The new science of management decision*. Harper & Brothers. 50 p.
2. Forrester J. W. (1994). System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. *System Dynamics Review*, 10(2–3), 245–256. DOI: https://doi.org/10.1002/sdr.4260100211
3. Midgley G. (2003). Science as Systemic Intervention. Kluwer Academic. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3701-2
4. Porter M. E. (1979). How competitive forces shape strategy. *Harvard Business Review,* 57(2), 137–145.
5. Das P., Hijazi A. A., Maxwell D. W., Moehler R. C. Can Business Models Facilitate Strategic Transformation in Construction Firms? A Systematic Review and Research Agenda. *Sustainability.* 2023. Vol. 15, No. 17. Article 13022. DOI: https://doi.org/10.3390/su151713022
6. Kaplan R. S., Norton, D. P. (1992). The balanced scorecard—Measures that drive performance. *Harvard Business Review,* 70(1), 71–79.
7. Morosan-Danila L., Grigoras-Ichim C.-E., Jeflea F. V., Filipeanu D., Tugui A. Assessing the Sustainability of Construction Companies in the Digital Context: An Econometric Approach Based on Financial, Social, and Environmental Indicators. *Sustainability.* 2025. Vol. 17, No. 10. Article 4744. DOI: https://doi.org/10.3390/su17104744
8. Klein J. T. Evaluation of Interdisciplinary and Transdisciplinary Research: A Literature Review. *American Journal of Preventive Medicine,* 2008, 35(2 Suppl), S116–S123. DOI: https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.010
9. Kerzner, H. (1998). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (6th ed.). John Wiley & Sons. 1008 p.
10. Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: A handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons. 288 p.
11. Trach R., Chupryna I., Tormosov R., Leshchynsky V., Trach Y., Ryzhakova G., Ratnikov D. & Onofriichuk O. (2026). Decision Support Framework for Post-War Infrastructure Revitalization Using a Hybrid Fuzzy–Simulation–ANN Model. *Applied Sciences,* 16(9), 4364. DOI: https://doi.org/10.3390/app16094364
12. Trach R, Chupryna I, Tormosov R, Druzhynin M, Trach Y, Ryzhakova G, Ratnikov D. An Integrated Fuzzy Logic and Network Analysis Approach to Assessing Supply Chain Stability in Prefabricated Construction. *Sustainability.* 2026; 18(3):1380. DOI: https://doi.org/10.3390/su18031380
13. Wang T., Chen H. Integration of Building Information Modeling and Project Management in Construction Project Life Cycle. *Automation in Construction,* 2023, 150. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104832
14. Soares I., Fernandes G. & Santos J. M. R. C. A. (2024). Sustainability in Project Management Practices. *Sustainability,* 16(10), 4275. DOI: https://doi.org/10.3390/su16104275/
15. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Systemic thinking for policy making: The potential of systems analysis for addressing global policy challenges*. OECD Publishing. DOI: https://doi.org/10.1787/879c4f7a-en
16. Agyekum K., Botchway S. Y., Dompey A. M. A., Gasue R., Aklashie S. Economic Performance Indicators for Assessing the Sustainability of Construction Projects: Stakeholders' Perspectives. *Built Environment Project and Asset Management*. 2025. DOI: https://doi.org/10.1108/BEPAM-09-2024-0221
17. Wang D., Huang R., Li K., Shrestha A. Organizational Structure and Dynamic Capabilities on Business Model Innovation in Project-Driven Enterprises: Evidence from the Construction Industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2023. DOI: https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2023-0090

References

1. Simon H. A. (1960). *The new science of management decision*. Harper & Brothers.
2. Forrester J. W. (1994). System dynamics, systems thinking, and soft OR. *System Dynamics Review,* 10(2–3), 245–256. https://doi.org/10.1002/sdr.4260100211
3. Midgley G. (2003). *Science as systemic intervention: Philosophy, methodology, and practice*. Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3701-2
4. Porter M. E. (1979). How competitive forces shape strategy. *Harvard Business Review*, 57(2), 137–145.
5. Das P., Hijazi A. A., Maxwell D. W. & Moehler R. C. (2023). Can business models facilitate strategic transformation in construction firms? A systematic review and research agenda. *Sustainability*, 15(17), 13022. https://doi.org/10.3390/su151713022
6. Kaplan R. S. & Norton D. P. (1992). The balanced scorecard—Measures that drive performance. *Harvard Business Review,* 70(1), 71–79.
7. Morosan-Danila L., Grigoras-Ichim C.-E., Jeflea F. V., Filipeanu D. & Tugui A. (2025). Assessing the sustainability of construction companies in the digital context: An econometric approach based on financial, social, and environmental indicators. *Sustainability*, 17(10), 4744. https://doi.org/10.3390/su17104744
8. Klein J. T. (2008). Evaluation of interdisciplinary and transdisciplinary research: A literature review. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(2 Suppl.), S116–S123. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.010
9. Kerzner H. (1998). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (6th ed.). John Wiley & Sons.
10. Osterwalder A. & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: A handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons.
11. Trach R., Chupryna I., Tormosov R., Leshchynsky V., Trach Y., Ryzhakova G., Ratnikov D. & Onofriichuk O. (2026). Decision support framework for post-war infrastructure revitalization using a hybrid fuzzy–simulation–ANN model. *Applied Sciences,* 16(9), 4364. https://doi.org/10.3390/app16094364
12. Trach R., Chupryna I., Tormosov R., Druzhynin M., Trach Y., Ryzhakova G., Ratnikov D. (2026). An integrated fuzzy logic and network analysis approach to assessing supply chain stability in prefabricated construction. *Sustainability,* 18(3), 1380. https://doi.org/10.3390/su18031380

13. Wang T. & Chen H. (2023). Integration of building information modeling and project management in construction project life cycle. *Automation in Construction*, 150, 104832. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104832
14. Soares I., Fernandes G. & Santos J. M. R. C. A. (2024). Sustainability in project management practices. *Sustainability,* 16(10), 4275. https://doi.org/10.3390/su16104275
15. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Systemic thinking for policy making: The potential of systems analysis for addressing global policy challenges.* OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/879c4f7a-en
16. Agyekum K., Botchway S. Y., Dompey A. M. A., Gasue R. & Aklashie S. (2025). Economic performance indicators for assessing the sustainability of construction projects: Stakeholders' perspectives. *Built Environment Project and Asset Management.* Advance online publication. https://doi.org/10.1108/BEPAM-09-2024-0221
17. Wang D., Huang R., Li K. & Shrestha A. (2023). Organizational structure and dynamic capabilities on business model innovation in project-driven enterprises: Evidence from the construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*. Advance online publication. https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2023-0090

FORMATION OF AN INTEGRATIVE SYSTEM FOR DIAGNOSING THE ECONOMIC CAPACITY OF CONSTRUCTION DEVELOPMENT ENTERPRISES

Abstract. *The article considers the integrative approach as a contemporary methodology for the comprehensive analysis of complex economic systems and identifies the specific features of its application to diagnosing the economic capacity of enterprises operating in a multiproject construction development environment. The evolution of the integrative approach in economic science is generalized, while its fundamental principles, directions of integration, and methodological significance for contemporary economic research are characterized. It is demonstrated that traditional approaches to economic diagnostics, which are mainly based on the analysis of financial indicators, fail to provide a comprehensive assessment of construction development enterprises operating under the simultaneous implementation of interconnected projects.*

The authors propose an original interpretation of the integrative diagnosis of enterprise economic capacity as a contemporary methodological approach to comprehensive assessment based on combining various scientific concepts, models, research methods, and information sources while considering the structure of the multiproject portfolio, project life-cycle stages, risk exposure, and the influence of the external environment. It is established that integrative diagnostics involves the systematic integration of financial, investment, resource-based, process, digital, risk-oriented, and ESG approaches within a unified information and analytical environment. A system of integrative diagnostic indicators for assessing enterprise economic capacity is developed, encompassing financial stability, liquidity, resource efficiency, multiproject portfolio performance, investment and innovation capacity, operational performance, risk resilience, organizational and managerial maturity, digital maturity, ESG performance, and strategic adaptability. It is emphasized that the proposed provisions may serve as a methodological foundation for the further development of integrated models for diagnosing the economic capacity of construction development enterprises.

Key words: enterprise, economic diagnostics, economic resilience, strategic management, construction development, multiproject management, integrated assessment, sustainable development, digital transformation.

D. H. Ratnikov
PhD in Economics,
Kyiv National University of Construction and Architecture

Дата першого надходження статті до видання: 22.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 658.15:005.52:004.9
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.19

Фесун А. С.
к.е.н., докторант кафедри менеджменту в будівництві,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0009-0002-1433-3087

Шилюк П. П.
аспірант кафедри менеджменту в будівництві
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID: 0009-0002-5471-3308

ТРАНСФОРМАЦІЯ БІЗНЕС-МОДЕЛЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ: ЕКОНОМІКО-АНАЛІТИЧНИЙ ПІДХІД

Анотація. *У статті досліджено теоретико-методичні засади трансформації бізнес-моделей будівельних підприємств в умовах цифрового середовища проєктів. Обґрунтовано, що цифровізація будівельної галузі змінює традиційну логіку створення економічної цінності та потребує переходу від фрагментарного використання фінансових, виробничих і проєктних інструментів до інтегрованої системи економіко-аналітичного управління. Проведено аналіз сучасних зарубіжних і вітчизняних наукових підходів до розвитку бізнес-моделей, цифрової трансформації та проєктно-орієнтованого управління, що дозволило визначити основні напрями еволюції концепції бізнес-моделі від інструменту організації підприємницької діяльності до комплексної економіко-аналітичної системи. Запропоновано авторський підхід до трактування бізнес-моделі будівельного підприємства як інтегрованої економіко-аналітичної системи, яка об'єднує механізми створення вартості, систему економічних показників, цифрову інфраструктуру, управління проєктами та інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття управлінських рішень. Систематизовано економіко-аналітичні компоненти бізнес-моделі, визначено їх функціональне призначення, аналітичні інструменти та управлінські результати. Обґрунтовано роль цифрових технологій у підвищенні точності економічних розрахунків, оперативності моніторингу реалізації будівельних проєктів, оцінюванні фінансової результативності, інвестиційної ефективності та ризиків. Узагальнення практичного досвіду провідних міжнародних будівельних компаній підтвердило, що цифровізація бізнес-моделей забезпечує скорочення витрат і строків реалізації проєктів, підвищення продуктивності використання ресурсів, зміцнення фінансової стійкості та конкурентоспроможності підприємств. Запропоновано концептуальний підхід до формування бізнес-моделі будівельного підприємства як інтегрованої економіко-аналітичної системи, що синтезує економічний аналіз, цифрові технології, проєктне управління, ризик-менеджмент і стратегічне планування в єдиному інформаційно-аналітичному середовищі та забезпечує підвищення економічної ефективності, інвестиційної привабливості й адаптивності підприємств у цифровій економіці.*

Ключові слова: бізнес-модель, будівельне підприємство, економічний аналіз, інвестиційна привабливість, цифрова трансформація, економічна ефективність, проєкт, стратегічне управління, девелопмент, інновації, сталий розвиток.

Постановка проблеми. Функціонування будівельних підприємств у цифровому середовищі проєктів супроводжується суттєвою зміною економічної логіки створення, розподілу та капіталізації вартості. Якщо в традиційній моделі діяльність будівельного підприємства переважно оцінювалася через виробничі потужності, ресурсне забезпечення, кошторисну вартість, строки виконання робіт і фінансовий результат, то в умовах цифровізації проєктного середовища ключового значення набуває здатність підприємства інтегрувати інформаційні потоки, аналітичні дані, цифрові платформи, інвестиційні рішення,

управління ризиками та взаємодію зі стейкхолдерами в єдину бізнес-модель. Це актуалізує потребу у формуванні економіко-аналітичних компонентів, які дозволяють не лише описати діючу бізнес-модель будівельного підприємства, а й оцінити її ефективність, адаптивність, стійкість і здатність до створення довгострокової економічної цінності.

Проблема полягає в тому, що значна частина будівельних підприємств продовжує використовувати фрагментарні підходи до економічного аналізу, управління проєктами та формування бізнес-моделей. Фінансові, виробничі, інвестиційні, маркетингові, ресурсні, цифрові та ризикові показники часто аналізуються ізольовано, без належного врахування їх взаємозв'язків у межах конкретного проєкту, портфеля проєктів і корпоративної стратегії підприємства. Унаслідок цього бізнес-модель не завжди відображає реальну архітектуру створення вартості, а управлінські рішення приймаються на основі неповної або несинхронізованої інформації. Особливо гостро ця проблема проявляється у будівельному девелопменті, де кожен проєкт має тривалий життєвий цикл, високу капіталомісткість, значну залежність від зовнішнього середовища, складну систему договірних відносин, просторову прив'язку активів і високий рівень фінансових, регуляторних, технічних та ринкових ризиків.

У цифровому середовищі проєктів бізнес-модель будівельного підприємства вже не може розглядатися лише як опис способу отримання доходу або організації виробничо-господарської діяльності. Вона набуває ознак складної економіко-управлінської системи, у межах якої поєднуються ціннісна пропозиція, структура витрат, джерела доходів, ресурсна база, цифрова інфраструктура, проєктний портфель, партнерські мережі, інвестиційна логіка, управління ризиками та механізми взаємодії із замовниками, інвесторами, підрядниками, органами влади й кінцевими споживачами. Саме тому формування бізнес-моделей будівельних підприємств потребує не лише концептуального опису, а й розроблення економіко-аналітичного інструментарію, здатного відобразити причинно-наслідкові зв'язки між цифровими технологіями, проєктною результативністю, фінансовою стійкістю, інвестиційною привабливістю та конкурентоспроможністю підприємства.

Зв'язок цієї проблеми з важливими науковими завданнями полягає у необхідності подальшого розвитку теорії бізнес-моделей у будівництві з урахуванням цифрової трансформації проєктного управління. Існуючі підходи до бізнес-моделювання здебільшого мають універсальний характер і недостатньо враховують специфіку будівельних підприємств як проєктно-орієнтованих економічних систем. Водночас цифровізація змінює саму природу економічного аналізу: дані BIM, ERP, CRM, PMIS, цифрових двійників, платформ управління витратами, графіками, ресурсами та ризиками створюють нові можливості для оцінювання ефективності бізнес-моделі в режимі наближеному до реального часу. Це потребує наукового обґрунтування складу економіко-аналітичних компонентів бізнес-моделі, визначення їх функціонального призначення, взаємозв'язків, критеріїв оцінювання та ролі у формуванні економічної результативності будівельного підприємства.

Практичне значення порушеної проблеми визначається потребою будівельних підприємств у підвищенні прозорості управління, оптимізації витрат, прискоренні прийняття управлінських рішень, зниженні ризиків реалізації проєктів і посиленні інвестиційної привабливості. У сучасних умовах конкурентоспроможність будівельного підприємства дедалі більше залежить не лише від наявності матеріально-технічних ресурсів чи досвіду виконання робіт, а від здатності побудувати таку бізнес-модель, яка забезпечує інтеграцію цифрових даних, економічної аналітики та проєктного управління. Економіко-аналітичні компоненти такої моделі мають забезпечувати оцінювання вартості проєктів, прибутковості, ліквідності, інвестиційної доцільності, ресурсної ефективності, продуктивності бізнес-процесів, цифрової зрілості, ризикостійкості та здатності підприємства адаптуватися до змін ринку.

Особливої актуальності дослідження набуває в умовах післявоєнного відновлення України, коли будівельна галузь розглядається як один із ключових секторів економічного відновлення, інфраструктурної модернізації та залучення інвестицій. Реалізація масштабних будівельних і девелоперських проєктів потребує нової якості управління, заснованої на прозорих бізнес-моделях, цифровій координації учасників, аналітичному контролі витрат, строків і ризиків, а також здатності

підприємств доводити свою економічну спроможність перед інвесторами, замовниками, фінансовими установами та державними інституціями. У цьому контексті економіко-аналітичні компоненти бізнес-моделі стають не допоміжним елементом управління, а основою формування довіри, інвестиційної привабливості та довгострокової стійкості будівельного підприємства.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Еволюцію наукових підходів до трансформації бізнес-моделей будівельних підприємств в умовах цифровізації доцільно розглядати від загальної теорії конкурентних переваг до сучасної цифрово-проєктної логіки створення вартості.

Теоретичні засади економічного аналізу бізнес-моделі були сформовані в межах концепції ланцюга створення вартості, відповідно до якої конкурентоспроможність підприємства визначається ефективністю взаємопов'язаних видів діяльності, що забезпечують створення економічної цінності. Для будівельних підприємств цей підхід дозволяє розглядати проєктування, постачання, будівництво, управління витратами та взаємодію із замовником як єдину систему формування економічного результату (М. Портер [1]). Методологія оцінювання бізнес-моделі була суттєво розширена завдяки впровадженню збалансованої системи показників, яка інтегрує фінансові, процесні, клієнтські та інноваційні критерії оцінювання. Це створило підґрунтя для комплексного аналізу результативності діяльності будівельних підприємств, орієнтованого на довгострокове створення вартості (Р. Каплан, Д. Нортон [2]).

Системний підхід до управління проєктами обґрунтовує необхідність інтеграції процесів планування, ресурсного забезпечення, контролю, управління ризиками та строками реалізації проєктів. Для будівельної галузі це визначає бізнес-модель як систему управління портфелем взаємопов'язаних проєктів (Г. Керцнер [3]). Концепція Business Model Canvas запропонувала розглядати бізнес-модель як цілісну систему взаємопов'язаних компонентів, що відображають механізми створення, доставки та привласнення цінності. Це забезпечило методологічний перехід від опису окремих функцій підприємства до аналізу архітектури бізнесу як інтегрованої економічної системи (А. Остервальдер, І. Піньє [4]). Цифрові технології розглядаються як ключовий фактор трансформації бізнес-моделей, що впливає на продуктивність, структуру витрат, організацію праці та механізми створення економічної цінності. Для будівельних підприємств це обґрунтовує використання BIM-технологій, цифрових платформ, аналітики даних і цифрових двійників як інструментів підвищення ефективності управління (Е. Бриньольфссон, Д.Рок, С. Сіверсон [5] та Р. Сакс, М. Джироламі, І. Брилакіс [6]). Подальший розвиток цифровізації зумовив перехід до концепції інтелектуальних взаємопов'язаних продуктів, відповідно до якої цифрові дані стають самостійним економічним ресурсом, а управління об'єктом здійснюється протягом усього його життєвого циклу, що суттєво змінює принципи функціонування бізнес-моделі будівельного підприємства (Ц. Лу, С. Сє, Дж. Гітон та А. К. Парлікад [7]).

Методологічні засади інтегрованого управління проєктами систематизовано через процесний підхід, що охоплює управління ресурсами, ризиками, стейкхолдерами, цінністю та інформаційними потоками [8, 21-23]. У сучасних умовах саме ці положення формують основу побудови бізнес-моделі будівельного підприємства як проєктно-орієнтованої економіко-аналітичної системи (Project Management Institute [9]).

Дослідження українських учених засвідчують поступовий перехід від традиційного розуміння бізнес-моделі як організаційно-економічної характеристики підприємства до її трактування як інтегрованої системи управління, орієнтованої на цифрову трансформацію, проєктний менеджмент та створення економічної цінності. У працях Г. Рижакової [10], О. Бєлєнкової [11], Ю. Чуприни [12] та співавторів обґрунтовано необхідність використання полікритеріальних моделей оцінювання, цифрових технологій і сучасних інформаційно-аналітичних інструментів у системі управління будівельними підприємствами, а також розкрито механізми трансформації операційних систем і бізнес-процесів у цифровому середовищі. Д.Чернишев [13-14] акцентує увагу на цифровізації управлінських процесів та інтеграції програмних рішень у діяльність будівельних організацій, тоді як у дослідженнях А. Шпакова та співавторів [15] розкрито економіко-інституціональні засади формування девелоперських портфелів і процесно-структурної трансформації деве-

лопменту. Водночас аналіз зазначених праць свідчить, що питання комплексного представлення бізнес-моделі будівельного підприємства, яка інтегрує механізми створення вартості, систему економічного оцінювання, цифрову інфраструктуру, управління проєктами та інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття управлінських рішень, залишається недостатньо розробленим і потребує подальшого наукового обґрунтування.

Метою статті є обґрунтування теоретико-методичних засад формування бізнес-моделі будівельного підприємства як інтегрованої економіко-аналітичної системи в умовах цифрового середовища проєктів, визначення її структурних компонентів, функціональних взаємозв'язків та ролі цифрових технологій у підвищенні економічної ефективності та обґрунтованості управлінських рішень.

Результати досліджень. Трансформація бізнес-моделей будівельних підприємств є закономірним наслідком цифровізації економіки, розвитку інформаційних технологій та зміни принципів управління інвестиційно-будівельними проєктами. На відміну від традиційної бізнес-моделі, яка орієнтувалася переважно на оптимізацію виробничих процесів, управління витратами та забезпечення фінансового результату, сучасна бізнес-модель функціонує як інтегрована система створення економічної цінності, що поєднує матеріальні, фінансові, інформаційні, цифрові та інтелектуальні ресурси. У будівельному девелопменті така трансформація має особливе значення, оскільки реалізація проєктів здійснюється у складному мультистейкхолдерському середовищі, характеризується високою капіталомісткістю, тривалими інвестиційними циклами, значною кількістю учасників та високим рівнем невизначеності.

Узагальнення сучасних наукових підходів дозволило встановити, що цифровізація змінює не лише технологічну основу функціонування підприємств, але й економічну архітектуру бізнес-моделі. Центр створення вартості поступово переміщується від управління окремими виробничими операціями до інтегрованого управління інформаційними потоками, цифровими активами, взаємодією зі стейкхолдерами та аналітичним забезпеченням прийняття управлінських рішень. У таких умовах ефективність діяльності визначається не стільки обсягами виконаних будівельних робіт, скільки здатністю підприємства швидко формувати, обробляти та використовувати інформацію для координації проєктів, оптимізації ресурсів, прогнозування ризиків і забезпечення довгострокової економічної результативності. Проведений аналіз дозволив визначити, що цифрове середовище проєктів формується внаслідок інтеграції BIM-технологій, ERP- та CRM-систем, платформ управління проєктами, цифрових двійників, хмарних сервісів, технологій Інтернету речей, штучного інтелекту та аналітики великих даних. Використання цих інструментів змінює механізми взаємодії між замовником, девелопером, проєктувальником, генеральним підрядником, постачальниками, фінансовими установами та кінцевими споживачами, що потребує відповідної трансформації бізнес-моделі підприємства.

Трансформація бізнес-моделі має ґрунтуватися на системній інтеграції економіко-аналітичних компонентів, які забезпечують комплексне оцінювання діяльності підприємства (табл. 1). До таких компонентів віднесено фінансово-аналітичний, інвестиційний, ресурсний, процесний, цифровий, ризик-аналітичний, маркетинговий та стратегічний блоки. Їх взаємодія забезпечує формування єдиного інформаційно-аналітичного середовища, у якому кожне управлінське рішення оцінюється з позицій його впливу на економічну ефективність, вартість проєктів, продуктивність використання ресурсів, фінансову стійкість, рівень ризиків та конкурентоспроможність підприємства.

На відміну від існуючих підходів, запропоновано розглядати бізнес-модель будівельного підприємства як економіко-аналітичну систему, що об'єднує механізми створення вартості, систему показників оцінювання, цифрову інфраструктуру, управління проєктами та інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття рішень (рис. 1). Такий підхід дозволяє інтегрувати стратегічне планування, фінансовий аналіз, оцінювання ефективності інвестицій, моніторинг виконання проєктів, управління ризиками, цифрову трансформацію та ESG-принципи в єдину систему управління підприємством.

Встановлено, що економіко-аналітична складова бізнес-моделі повинна базуватися на системі взаємопов'язаних показників, які характеризують фінансову стійкість, ліквідність, прибутковість, ефективність використання ресурсів, оборотність капіталу,

Таблиця 1. Економіко-аналітичні компоненти формування бізнес-моделі будівельного підприємства

Економіко-аналітичний компонент	Функціональне призначення	Основні інструменти	Управлінський результат
Фінансово-аналітичний	Оцінювання фінансового стану та результативності	Фінансовий аналіз, DCF, NPV, IRR, KPI	Фінансова стійкість і зростання ефективності
Інвестиційний	Оцінювання інвестиційних рішень	Інвестиційний аналіз, сценарії, реальні опціони	Оптимізація інвестицій та вартості бізнесу
Ресурсний	Аналіз використання ресурсів	ABC, XYZ, DEA, факторний аналіз	Підвищення продуктивності ресурсів
Процесний	Оцінювання бізнес-процесів	BPM, VSM, KPI процесів	Скорочення витрат і строків проєктів
Цифровий	Інформаційно-аналітична підтримка управління	BIM, ERP, CRM, PMIS, BI	Підвищення якості та швидкості рішень
Ризик-аналітичний	Оцінювання економічних ризиків	Monte Carlo, VaR, SWOT, FMEA	Зниження ризиків і підвищення стійкості
Маркетинговий	Аналіз ринку та конкурентного середовища	Benchmarking, SWOT, конкурентний аналіз	Посилення конкурентних переваг
Стратегічний	Узгодження бізнес-моделі зі стратегією	BSC, стратегічні карти, foresight	Стратегічна адаптивність підприємства
Інтегративний	Комплексна інтеграція аналітичних компонентів	MCDM, інтегральне оцінювання, економіко-математичне моделювання	Комплексне оцінювання бізнес-моделі та підтримка стратегічних рішень

інвестиційну активність, цифрову зрілість, результативність бізнес-процесів, рівень ризиків, інноваційну активність та створення довгострокової економічної цінності. Інтеграція зазначених показників забезпечує формування комплексної аналітичної інформації, необхідної для оперативного, тактичного та стратегічного управління підприємством.

Цифровізація змінює функціональне призначення економічного аналізу. Якщо традиційний аналіз переважно оцінював результати діяльності після завершення звітного періоду, то сучасні цифрові технології забезпечують можливість безперервного моніторингу реалізації проєктів, прогнозування економічних наслідків управлінських рішень та оперативного реагування на відхилення від запланованих параметрів, що дозволяє перейти від ретроспективної оцінки до проактивного управління економічною результативністю будівельного підприємства. Важливою складовою трансформації бізнес-моделі є інтеграція цифрових технологій із системою економічної аналітики. Використання BIM-моделей, цифрових двійників, платформ управління ресурсами та штучного інтелекту забезпечує автоматизоване накопичення інформації, підвищує точність економічних розрахунків, скорочує часові витрати на підготовку управлінської інформації та підвищує якість прогнозування фінансових результатів реалізації проєктів, що створює передумови для формування цифрової бізнес-моделі, у якій дані стають одним із ключових економічних ресурсів підприємства. Важливою складовою трансформації бізнес-моделі є інтеграція цифрових технологій із системою економічної аналітики на всіх етапах життєвого циклу будівельного проєкту, що підвищує точність розрахунків кошторисної вартості, прогнозування грошових потоків, оцінювання собівартості будівельно-монтажних робіт, контролю використання матеріальних, трудових і машинних ресурсів, аналізу продуктивності праці, рівня завантаження виробничих потужностей, виконання календарних графіків та освоєння капітальних інвестицій.

Одночасно цифрові технології забезпечують оперативний моніторинг ключових економічних індикаторів діяльності будівельного підприємства, зокрема рентабельності проєктів, чистої теперішньої вартості (NPV), вну-

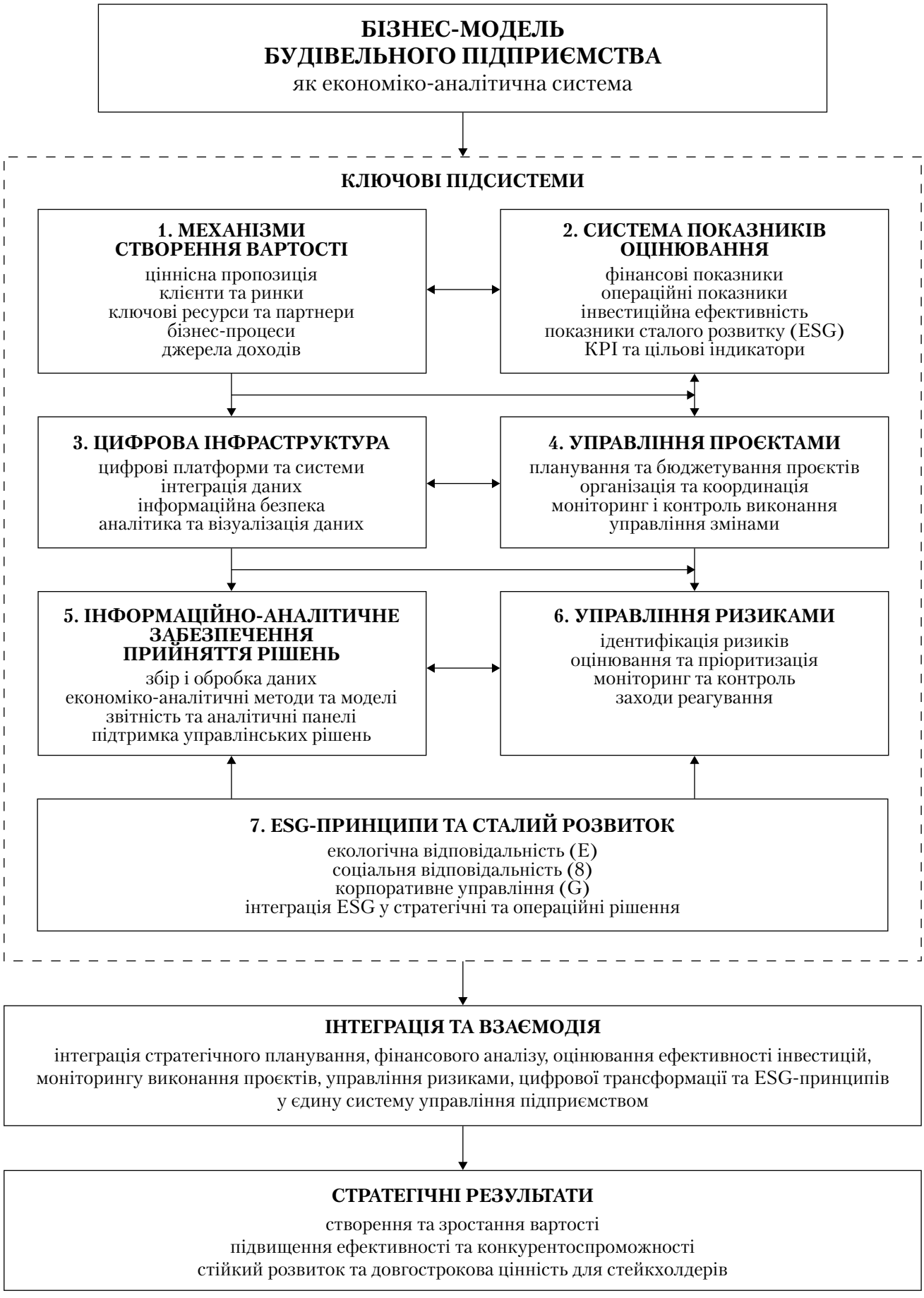


Рис. 1. Архітектура взаємодії економіко-аналітичних підсистем бізнес-моделі будівельного підприємства

трішньої норми дохідності (IRR), дисконтованого строку окупності, індексу прибутковості інвестицій (PI), відхилень фактичних витрат від кошторису (Cost Variance), виконання робіт за графіком (Schedule Performance Index), освоєної вартості (Earned Value), продуктивності використання ресурсів, оборотності оборотного капіталу, тривалості операційного циклу, рівня контрактних ризиків, ліквідності та фінансової стійкості підприємства. Інтеграція зазначених показників у єдиному цифровому інформаційно-аналітичному середовищі забезпечує своєчасне виявлення відхилень від планових параметрів, підвищує обґрунтованість управлінських рішень, точність прогнозування економічних результатів реалізації будівельних проєктів і створює передумови для формування цифрової бізнес-моделі, у якій дані, поряд із фінансовими, матеріальними та інтелектуальними ресурсами, набувають статусу стратегічного економічного активу підприємства.

Практика провідних будівельних компаній світу підтверджує, що цифрові технології стають ключовим фактором трансформації бізнес-моделей та підвищення економічної результативності діяльності. Так, компанія Skanska (Швеція) під час реалізації інфраструктурного проєкту A428 Black Cat – Caxton Gibbet у Великій Британії використала цифровий двійник (Digital Twin), що забезпечило економію близько 1,5 млн фунтів стерлінгів за рахунок зменшення проєктних помилок і оптимізації будівельних процесів [16]. У проєкті Stockholm New Metro застосування BIM-технологій і цифрових моделей дозволило скоротити тривалість будівництва приблизно на 20 %. Bouygues Construction (Франція) інтегрувала BIM, IoT та цифрові двійники у процес управління життєвим циклом будівель, що сприяло зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню точності кошторисного планування [17]. Kajima Corporation (Японія) поєднала BIM, штучний інтелект і роботизовані системи, що дозволило підвищити продуктивність праці та знизити операційні витрати на реалізацію масштабних будівельних проєктів [18]. Turner Construction (США) використовує технологію BIM 5D та інтегровані ERP-системи для управління вартістю і строками будівництва багатомільярдних медичних, освітніх і спортивних комплексів, забезпечуючи підвищення точності бюджетування та скорочення фінансових ризиків [19]. Компанія Lendlease (Австралія) реалізувала цифрову бізнес-модель у девелоперському проєкті Barangaroo South (вартість понад 6 млрд австралійських доларів), де інтеграція BIM, цифрових двійників та ESG-аналітики забезпечила підвищення енергоефективності об'єктів, оптимізацію експлуатаційних витрат і зростання інвестиційної привабливості проєкту [20]. Узагальнення міжнародного досвіду свідчить, що інтеграція цифрових технологій у бізнес-моделі будівельних підприємств забезпечує скорочення вартості реалізації проєктів, підвищення продуктивності використання ресурсів, зменшення строків будівництва, зниження проєктних ризиків і зростання економічної ефективності інвестиційної діяльності.

Висновки. Еволюція наукових підходів демонструє перехід від аналізу конкурентних переваг і фінансової результативності до розуміння бізнес-моделі будівельного підприємства як цифрово інтегрованої системи створення вартості, у якій поєднуються проєктне управління, економічна аналітика, цифрові технології, управління ризиками, ресурсна ефективність і стратегічна адаптивність. Результати дослідження свідчать, що трансформація бізнес-моделей будівельних підприємств у цифровому середовищі повинна здійснюватися на основі інтеграції економічного аналізу, цифрових технологій, проєктного управління, ризик-менеджменту та стратегічного планування. Запропонований економіко-аналітичний підхід забезпечує комплексне оцінювання процесів створення вартості, підвищує обґрунтованість управлінських рішень, сприяє оптимізації використання ресурсів, зміцненню фінансової стійкості, зростанню конкурентоспроможності та адаптивності будівельних підприємств в умовах цифрової трансформації економіки. Інтеграція економічних і цифрових компонентів бізнес-моделі формує методологічне підґрунтя для її подальшого розвитку як ефективного інструменту управління підприємствами будівельного девелопменту.

Література

1. Porter M. E. *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. Free Press. 1985, 557 p.
2. Kaplan R. S., Norton D. P. *The balanced scorecard: Translating strategy into action*. Harvard Business School Press. 1996, 322 p.
3. Kerzner H. (1998). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (6th ed.). John Wiley & Sons. 1008 p.

4. Osterwalder A., Pigneur Y., Tucci C. L. Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept. *Communications of the Association for Information Systems*. 2005. Vol. 16. DOI: https://doi.org/10.17705/1CAIS.01601
5. Brynjolfsson E., Rock D., Syverson C. Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda. Chicago : University of Chicago Press, 2019. P. 23–57. DOI: https://doi.org/10.3386/w24001
6. Sacks R., Girolami M., Brilakis I. Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol. 4. Article 100011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011
7. Lu Q., Xie X., Heaton J., Parlikad A. K. From BIM towards Digital Twin: Strategy and Future Development for Smart Asset Management. *Automation in Construction*. 2020. Vol. 117. Article 103270. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103270
8. Hillmann J., Guenther E. Organizational Resilience: A Valuable Construct for Management Research? *International Journal of Management Reviews*. 2021. Vol. 23, No. 1. P. 7–44. DOI: https://doi.org/10.1111/ijmr.12239
9. Project Management Institute. (2021). *The standard for project management and a guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). Project Management Institute. 370 p.
10. Trach R., Ryzhakova G., Trach Y., Shpakov A. & Tyvoniuk V. (2023). Modeling the Cause-and-Effect Relationships between the Causes of Damage and External Indicators of RC Elements Using ML Tools. *Sustainability,* 15(6), 5250. DOI: https://doi.org/10.3390/su15065250
11. Bielienkova O., Ryzhakova G., Kulikov O., Akselrod R. & Loktionova Y. (2024). Formation of Organizational Change Management Strategies Based on Fuzzy Set Methods. In *Data-Centric Business and Applications: Modern Trends in Financial and Innovation Data Processes 2023*. Volume 1 (pp. 251–275). Cham: Springer Nature Switzerland. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-7_12
12. Chupryna I., Ryzhakova G., Biloshchytskyi A., Tormosov R., Gonchar V. & Chupryna K. (2022). Designing a toolset for the formalized evaluation and selection of reengineering projects to be implemented at an enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 1(13), 115. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251235
13. Chernyshev D., Ivakhnenko I., Ryzhakova G. & Predun K. (2018). Implementation of principles of biospheric compatibility in the practice of ecological construction in Ukraine. *International Journal of Engineering & Technology, UAE: Science Publishing Corporation*, 10(3.2), 2. DOI: https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27283
14. Chernyshev D., Ryzhakova G., Honcharenko T., Petrenko H., Chupryna I., Reznik N. Digital Administration of the Project Based on the Concept of Smart Construction. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham : Springer, 2023. Vol. 495. P. 1316–1331. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-08954-1_114
15. Akselrod R., Shpakov A., Ryzhakova G., Honcharenko T., Chupryna I. & Shpakova H. (2022). Integration of data flows of the construction project life cycle to create a digital enterprise based on building information modeling. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering,* 1, 40–50.
16. Skanska. (n.d.). *Skanska*. https://www.skanska.com/
17. Turner Construction Company. (n.d.). *Turner Construction Company*. https://www.turnerconstruction.com/
18. Kajima Corporation. (n.d.). *Kajima Corporation*. https://www.kajima.co.jp/english/
19. Bouygues Construction. (n.d.). *Bouygues Construction*. https://www.bouygues-construction.com/
20. Lendlease. (n.d.). *Lendlease*. https://www.lendlease.com/
21. Verhoef P. C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J. Q., Fabian N., Haenlein M. Digital Transformation: A Multidisciplinary Reflection and Research Agenda. *Journal of Business Research*. 2021. Vol. 122. P. 889–901. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022
22. Wang T., Chen H. Integration of Building Information Modeling and Project Management in Construction Project Life Cycle. *Automation in Construction*. 2023. Vol. 150. Article 104832. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104832
23. Duchek S. Organizational Resilience: A Capability-Based Conceptualization. *Business Research*. 2020. Vol. 13. P. 215–246. DOI: https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7

References

1. Porter M. E. (1985). Competitive advantage: *Creating and sustaining superior performance*. Free Press.
2. Kaplan R. S. & Norton D. P. (1996). *The balanced scorecard: Translating strategy into action*. Harvard Business School Press.
3. Kerzner H. (1998). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (6th ed.). John Wiley & Sons.
4. Osterwalder A., Pigneur Y. & Tucci C. L. (2005). Clarifying business models: Origins, present, and future of the concept. *Communications of the Association for Information Systems,* 16, Article 1. https://doi.org/10.17705/1CAIS.01601
5. Brynjolfsson E., Rock D. & Syverson C. (2019). Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics. In A. Agrawal, J. Gans & A. Goldfarb (Eds.), *The economics of artificial intelligence: An agenda* (pp. 23–57). University of Chicago Press. https://doi.org/10.3386/w24001
6. Sacks R., Girolami M., & Brilakis I. (2020). Building information modelling, artificial intelligence and construction tech. *Developments in the Built Environment,* 4, Article 100011. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011
7. Lu Q., Xie X., Heaton J. & Parlikad A. K. (2020). From BIM towards digital twin: Strategy and future development for smart asset management. *Automation in Construction,* 117, Article 103270. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103270
8. Hillmann J. & Guenther E. (2021). Organizational resilience: A valuable construct for management research? *International Journal of Management Reviews,* 23(1), 7–44. https://doi.org/10.1111/ijmr.12239
9. Project Management Institute. (2021). *The standard for project management and a guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). Project Management Institute.

10. Trach R., Ryzhakova G., Trach Y., Shpakov A. & Tyvoniuk V. (2023). Modeling the cause-and-effect relationships between the causes of damage and external indicators of RC elements using ML tools. *Sustainability,* 15(6), Article 5250. https://doi.org/10.3390/su15065250
11. Bielienkova O., Ryzhakova G., Kulikov O., Akselrod R. & Loktionova Y. (2024). Formation of organizational change management strategies based on fuzzy set methods. In *Data-Centric Business and Applications: Modern Trends in Financial and Innovation Data Processes 2023* (Vol. 1, pp. 251–275). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54012-7_12
12. Chupryna I., Ryzhakova G., Biloshchytskyi A., Tormosov R., Gonchar V. & Chupryna K. (2022). Designing a toolset for the formalized evaluation and selection of reengineering projects to be implemented at an enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 1(13), Article 251235. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251235
13. Chernyshev D., Ivakhnenko I., Ryzhakova G. & Predun K. (2018). Implementation of principles of biospheric compatibility in the practice of ecological construction in Ukraine. *International Journal of Engineering & Technology,* 7(4.8), 584–586. https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27283
14. Chernyshev, D., Ryzhakova, G., Honcharenko, T., Petrenko, H., Chupryna, I., & Reznik, N. (2023). Digital administration of the project based on the concept of smart construction. In B. Alareeni & A. Hamdan (Eds.), *Lecture Notes in Networks and Systems* (Vol. 495, pp. 1316–1331). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08954-1_114
15. Akselrod R., Shpakov A., Ryzhakova G., Honcharenko T., Chupryna I. & Shpakova H. (2022). Integration of data flows of the construction project life cycle to create a digital enterprise based on building information modeling. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering,* 12(1), 40–50. https://doi.org/10.46338/IJETAE0122_05
16. Skanska. (n.d.). *Skanska*. Retrieved from https://www.skanska.com/
17. Turner Construction Company. (n.d.). *Turner Construction Company.* Retrieved from https://turnerconstruction.com/
18. Kajima Corporation. (n.d.). *Kajima Corporation*. Retrieved from https://www.kajima.co.jp/english/
19. Bouygues Construction. (n.d.). *Bouygues Construction*. Retrieved from https://www.bouygues-construction.com/
20. Lendlease. (n.d.). *Lendlease.* Retrieved from https://www.lendlease.com/
21. Verhoef P. C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J. Q., Fabian N. & Haenlein M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research,* 122, 889–901. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022
22. Wang T. & Chen H. (2023). Integration of building information modeling and project management in construction project life cycle. *Automation in Construction,* 150, Article 104832. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104832
23. Duchek S. (2020). Organizational resilience: A capability-based conceptualization. *Business Research,* 13(1), 215–246. https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7

TRANSFORMATION OF BUSINESS MODELS OF CONSTRUCTION ENTERPRISES UNDER DIGITALIZATION: AN ECONOMIC AND ANALYTICAL APPROACH

Abstract. *The article investigates the theoretical and methodological foundations of the transformation of business models of construction enterprises within the digital project environment. It is substantiated that the digitalization of the construction industry changes the traditional logic of economic value creation and requires a transition from the fragmented use of financial, production, and project management tools to an integrated system of economic and analytical management. The study analyzes contemporary international and Ukrainian scientific approaches to the development of business models, digital transformation, and project-oriented management, making it possible to identify the main directions in the evolution of the business model concept from a tool for organizing business activities to a comprehensive economic and analytical system. The authors propose an original approach to interpreting the business model of a construction enterprise as an integrated economic and analytical system that combines value creation mechanisms, a system of economic performance indicators, digital infrastructure, project management, and information and analytical support for managerial decision-making. The economic and analytical components of the business model are systematized, and their functional purpose, analytical tools, and managerial outcomes are identified. The role of digital technologies in improving the accuracy of economic calculations, enhancing real-time monitoring of construction projects, and assessing financial performance, investment efficiency, and project risks is substantiated. The generalization of practical experience from leading international construction companies demonstrates that the digitalization of business models contributes to reducing project costs and implementation time, increasing resource productivity, strengthening financial sustainability, and improving enterprise competitiveness. A conceptual approach to developing the business model of a construction enterprise as an integrated economic and analytical system is proposed. This approach synthesizes economic analysis, digital technologies, project management, risk management, and strategic planning within a unified information and*

analytical environment, thereby enhancing economic efficiency, investment attractiveness, and the adaptability of enterprises in the digital economy.

Key words: business model, construction enterprise, economic analysis, investment attractiveness, digital transformation, economic efficiency, project, strategic management, development, innovation, sustainable development.

A. S. Fesun
PhD in Economics, Doctoral Researcher,
Department of Management in Construction
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

P. P. Shyliuk
PhD Student,
Department of Management in Constructio,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 658.512
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.20

Лещінський В. П.
д.ю.н., доцент кафедри агроекономіки та менеджменту,
Київський аграрний університет
Національної академії аграрних наук України, м. Київ
ORCID: 0000-0002-0533-2341

Барко В. Ф.
аспірант кафедри менеджменту в будівництві,
Київський аграрний університет
Національної академії аграрних наук України, м. Київ
ORCID: 0000-0001-7441-954X

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНОЇ СФЕРИ НА ОСНОВІ ОБ'ЄКТНО-АДАПТИВНОГО ПІДХОДУ

Анотація. *Статтю присвячено вирішенню науково-прикладного завдання щодо створення організаційно-економічного механізму цифрового адміністрування та цифрової трансформації підприємств будівельної галузі вцілому та інвестиційно-будівельних підприємств зокрема. Актуальність теми проведення дослідження обумовлена наступними передумовами: цифрове управління та сучасні управлінські технології виступають домінантами трансформації підходів як до управління будівельних підприємств, так і до формування середовища функціонування інвестиційно-будівельної сфери.*

Доведено, що в умовах розвитку цифрової економіки та зростання вимог до ефективності управління будівельними проєктами цифровізація стає ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності підприємств галузі, забезпечення їхньої стійкості та адаптації до динамічних змін зовнішнього середовища.

Базової основою цифрової трансформації підприємств інвестиційно-будівельної сфери в статті визначено обєктивно-адаптивний підхід. Стаття присвячена створенню інструментарію комбінованого організаційно-економічного, цифрового та управлінського моделювання роботи підприємств інвестиційно-будівельної сфери. Представлений в статті організаційно-економічний механізм цифрової трансформації підприємств інвестиційно-будівельної сфери має як наукову, так і практичну значимість у зв'язку з тим, що сформовано та системно представлено порядок дій підприємств інвестиційно-будівельної сфери при переході на інформаційне моделювання, що відрізняються урахуванням видів діяльності підприємств на основі об'єктно-адаптивного підходу та є основою для розробки та прийняття обґрунтованих управлінських рішень у процесі цифрової трансформації підприємств інвестиційно-будівельної сфери, спрямованої на перехід на цифрові технології.

У дослідженні враховуються особливості різних груп учасників інвестиційно-будівельних проєктів: девелоперів, проєктувальників, виконавців будівельних робіт та експлуатуючих організацій. Визначено їх функціональні завдання на різних стадіях життєвого циклу будівельного об'єкта та особливості використання технологій інформаційного моделювання (BIM). Розкрито взаємозв'язок між виробничими функціями підприємств, необхідними цифровими компетентностями персоналу, програмним забезпеченням та ресурсним забезпеченням процесів цифровізації.

Організаційно-економічний механізм цифрової трансформації структуровано у вигляді чотирьох взаємопов'язаних блоків: інформаційно-аналітичного, ресурсозабезпечувального, організаційного та реалізаційного. Визначено зміст кожного блоку, послідовність впровадження інформаційного моделювання, інструменти підготовки персоналу, формування циф-

рової інфраструктури, розроблення корпоративних BIM-стандартів і регламентів, а також механізми координації учасників цифрової трансформації.

Ключові слова: будівництво, будівельні підприємства, цифровізація, конкурентоспроможність, організаційно-економічний механізм.

Постановка проблеми. Сьогодні цифрова економіка стає все більш помітною в економічній сфері. Зі швидким розвитком інформаційних технологій, популяризацією та застосуванням Інтернету цифрова трансформація стала ключовим шляхом для підприємств будівельно-інвестиційної сфери, щоб підвищити свою конкурентоспроможність і адаптуватися до ринкового попиту. З передовою наукою та цифровими технологіями цифрова трансформація стала важливим способом сприяння сталому розвитку будівельної галузі. Надзвичайної актуальності набула проблематика розробки та впровадження організаційно-економічних механізмів цифрової трансформації бізнес-процесів, за для прискореної реалізації цифрових можливостей підвищення конкурентоспроможності будівельних підприємств. Домінантою економічного зростання підприємств будівельно-інвестиційної сфери вважається їх прибуткова діяльність, і саме такі ознаки починають формувати національну економіку України впродовж останніх років. Разом з тим, загострюються негативні тенденції зниження прибутковості підприємств інвестиційно-будівельної сфери у зв`язку з відставанням загального цифрового розвитку України. Тому економічною необхідністю є орієнтація на цифрову трансформацію бізнес-процесів через параметри стратегій цифрового тренду, що дозволить використовувати переваги змін зовнішнього середовища та уникнути втрат економічного потенціалу. Існує реальна потреба в опрацюванні інноваційних підходів до оцінки рівня цифровізації з урахуванням стратегій цифрового тренду підприємства інвестиційно-будівельної сфери, типу управління та системи позиціювання на ринку; в розробці та впровадженні ефективного організаційно-економічного механізму цифрової трансформації бізнес-процесів будівельного підприємства, спрямованого не стільки на зростання поточних прибутків, скільки на формування і використання можливостей цифрового розвитку. Саме це є визначальним для створення передумов сталого розвитку у довгостроковій перспективі та належить до пріоритетних завдань економіки. Основою цифрової трансформації є використання цифрових технологій для покращення існуючої системи управління підприємствами інвестиційно-будівельної сфери, координації між різними відділами підприємств (персонал, фінанси, виробництво, логістика, маркетинг, адміністрування), для підвищення ефективності розподілу ресурсів та цифровізації бізнес-процесів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Систематизація праць фахівців з організації будівництва Арутюнян І.С., Бєлєнкової О.Ю., Гончаренко Т.А., Єсипенко А.Д., Кулікова П.М., Малихіної О.М., Новикової І.В., Осипова О.Ф., Поколенка В.О., Пшінько О.М., Приходька Д.О., Рижакової Г.М., Шпакова А.В. та ін. дозволила прийняти гіпотезу роботу в такий спосіб: що для розв'язання актуальних проблем в організації будівництва, пов'язаних з цифровизацією економіки та адаптації піжприємств інвестиційно-будівельної сфери слід побудувати модель організаційно-економічного та цифрового адміністрування діяльності будівельних підприємств.

Постановка задачі. Метою дослідження є теоретичне обґрунтування необхідності розробки організаційно-економічного механізму цифрової трансформації підприємств інвестиційно-будівельної сфери на основі об'єктно-адаптивного підходу.

Результати досліджень. Важливою складовою формування ефективної системи управління інвестиціно-будівельної сфери є створення організаційно-економічного механізму цифрової трансформації підприємств інвестиціно-будівельної сфери на основі об'єктно-адаптивного підходу. Розробка такого механізму є закономірним наслідком формування стратегії цифрової трансформації, оскільки безпосередньо за розробкою та прийняттям стратегії слідує її реалізація, яка також потребує методичного забезпечення. Об'єктно-адаптивний підхід ґрунтується в цьому дослідженні на тому, що інвестиційно-будівельна сфера включає підприємства різних видів діяльності, кожне з яких виконує свої функції при реалізації інвестиційно-будівельних проектів. При цьому те саме підприємство може виконувати як одну функцію, так і кілька.

З огляду на те, що видів діяльності організацій інвестиціно-будівельної сфери багато, проте деякі з них близькі за змістом, ми запропонували умовно розділити їх на 4 групи – девелопери, проектувальники, виконавці, що експлуатують організації. Незважаючи на те, що деякі учасники інвестиційно-будівельних проектів беруть участь у ньому на всіх або кількох етапах, основний обсяг їх робіт з інформаційною моделлю завжди сконцентрований на певній стадії проекту - передінвестиційної (передпроектна, концептуальна стадія інвестиційно-будівельного проекту), інвестиційної, що включає етап проектування та етап будівництва або експлуатаційної. Так, девелопери працюють з інформаційною моделлю переважно на передпроектній стадії, проектувальники – на стадії проектування, виконавці – на стадії будівництва, а експлуатуючі організації – на стадії експлуатації

Оскільки підприємства різних видів діяльності працюють з інформаційною моделлю на різних стадіях, вони виконують різні завдання, використовують при їх виконанні різне програмне забезпечення. Для роботи з цим програмним забезпеченням і виконання цих завдань необхідне певне обладнання та компетенції персоналу. Відповідно, ключовим аспектом при розробці організаційно-економічного механізму реструктуризації підприємств інвестиційно-будівельної сфери на основі об'єктно-адаптивного підходу є визначення завдань, які виконує кожна група підприємств. Розглянемо основні завдання, які виконують різні групи підприємств інвестиційно-будівельної сфери (вони можуть бути деталізовані, доповнені тощо) по роботі з інформаційною моделлю послідовно (на основі результатів аналізу ряду джерел [3, 6, 11, 14, 22]):

Група девелоперів виконує такі завдання у рамках інвестиційно-будівельного проекту при застосуванні інформаційного моделювання:

– формування ескізної інформаційної моделі;

– попередні розрахунки (техніко-економічних показників, фінансових показників);

– формування фінансової моделі проекту;

– визначення (попереднє) номенклатури та обсягів закупівлі матеріалів;

– формування технічних завдань та конкурсної документації;

– формування комплекту вихідно-дозвільної документації;

– інтеграція з програмним забезпеченням під час проведення контрольно-наглядових заходів;

– моніторинг ходу виконання будівельно-монтажних робіт (БМР);

– контроль виправлення виявлених порушень та ін.

Група проектувальників виконує такі завдання в рамках інвестиційно-будівельного проекту при застосуванні інформаційного моделювання:

– створення цифрової моделі рельєфу, місцевості та геології при внесенні в середу загальних даних результатів інженерних пошуків;

– багатоваріантне проектування та підбір найбільш доцільного об'ємно-планувального рішення з точки зору компактності, освітленості, експлуатаційних та вартісних характеристик (дозволяє сформувати кілька варіантів рішення для проекту для подальшого вибору найкращого за тими чи іншими важливими для замовника параметрами);

– підбір та розміщення інженерно-технічного та допоміжного обладнання, вибір будівельних та оздоблювальних матеріалів;

– розробка інформаційної моделі, що поєднує архітектурні, конструкторські, проектні та інженерні рішення, і відображає всі техніко-економічні показники;

– формування комплекту проектної та робочої документації;

– визначення вартісних та тимчасових параметрів інвестиційно-будівельного проекту;

– 3D-візуалізація проекту;

– розрахунок металоконструкцій, залізобетонних конструкцій та будівельних систем;

– формування техніко-економічного обґрунтування проекту;

– організаційно-технологічне проектування;

– пошук та ліквідація помилок;

– забезпечення візуальної привабливості, відповідності до норм, безпеки та енергоефективності [11, 23];

– проходження експертизи документації для інвестиційно-будівельного проекту;

– здійснення авторського нагляду та ін.

Група виконавців виконує такі завдання в рамках інвестиційно-будівельного проекту при застосуванні інформаційного моделювання:

– підготовка та організація управління будівництвом;

– календарне планування;
– управління ресурсами, зокрема організація поставок устаткування й матеріалів;
– відстеження ходу виконання БМР, виконання календарно-мережевого графіка;
– наповнення інформаційної моделі даними за результатами будівельного контролю;
– контроль дотримання вимог безпеки;
– здійснення будівельного нагляду;
– контроль виправлення виявлених порушень;
– координація учасників БМР та контроль субпідрядників;
– формування виконавської документації та ін.

Група експлуатуючих організацій виконує такі завдання в рамках інвестиційно-будівельного проекту при застосуванні інформаційного моделювання:
– створення технологічних карт обладнання;
– створення графіків обслуговування та обходу обладнання;
– контроль основних технічних та експлуатаційних характеристик об'єкта в режимі онлайн;
– облік витрат ресурсів;
– швидкий пошук інформації по об'єкту та проведення необхідних робіт у разі технічних збоїв, порушень у роботі інженерно-технологічного обладнання;
– наповнення інформаційної моделі даними про експлуатацію – формування експлуатаційної інформаційної моделі.

Виходячи із зазначеного розмежування завдань учасників інвестиційно-будівельних проектів при роботі з інформаційною моделлю випливає і те, що при доборі програмного забезпечення кожна група підприємств орієнтується на виконувані підприємством завдання. Розподіл видів програмного забезпечення за виділеними для вирішення завдань даного дослідження груп підприємств інвестиційно-будівельної сфери представлено на рисунку 1.

Комплексна реструктуризація підприємств інвестиційно-будівельної сери у формі цифрової трансформації вимагає розробки методичного забезпечення, що дозволяє організувати цей процес раціональним чином, з урахуванням логічної послідовності дій і всіх значущих факторів. Нами обґрунтовано необхідність

Рис. 1. Види програмного забезпечення для виконання відповідних завдань виділеними групами підприємств інвестиційно-будівельної сфери

Джерело: складений авторами

застосування об'єктно-адаптивного підходу при розробці методичного забезпечення, що враховує наявність різних груп об'єктів, які визначають специфіку проведення реструктуризаційних перетворень – підприємств різних видів діяльності, а також таких ключових ознак як масштаб і рівень готовності до цифрової трансформації.

Виходячи з викладеного, методичне забезпечення, що розробляється, має ознаки механізму управління. Так, Рижакова Г.М. [19] визначає механізм управління як «порядок дій при здійсненні вибору впливів, які управляють, на об'єкт управління, що забезпечують досягнення поставленої мети управління». В економічній та управлінській науці виділяють 2 основні види механізмів управління – економічні та організаційні механізми. На рисунку 2 представлено місце механізму управління у системі управління підприємством.

Відповідно до позиції авторів, «у внутрішній середовищі підприємства з урахуванням чинників довкілля формується механізм управління, з допомогою якого суб'єкт управління впливає на об'єкт управління» [4, 5, 9]. Розглянемо думки різних авторів щодо сутності економічного та організаційного механізмів управління. Так, низка вчених розглядає економічний механізм як об'єктивно зумовлений здійсненням господарської діяльності фірми в ринкових умовах, коли результати управлінської та господарської діяльності отримують оцінку на ринку в процесі обміну [11], тобто має економічну природу. У цьому слід погодитися з думкою іноземних авторів [22, 23] у тому, що формування та розвиток економічних механізмів завжди пов'язані з функціонуванням різних організаційних систем. Вони відзначають також, що організаційний механізм управління включає

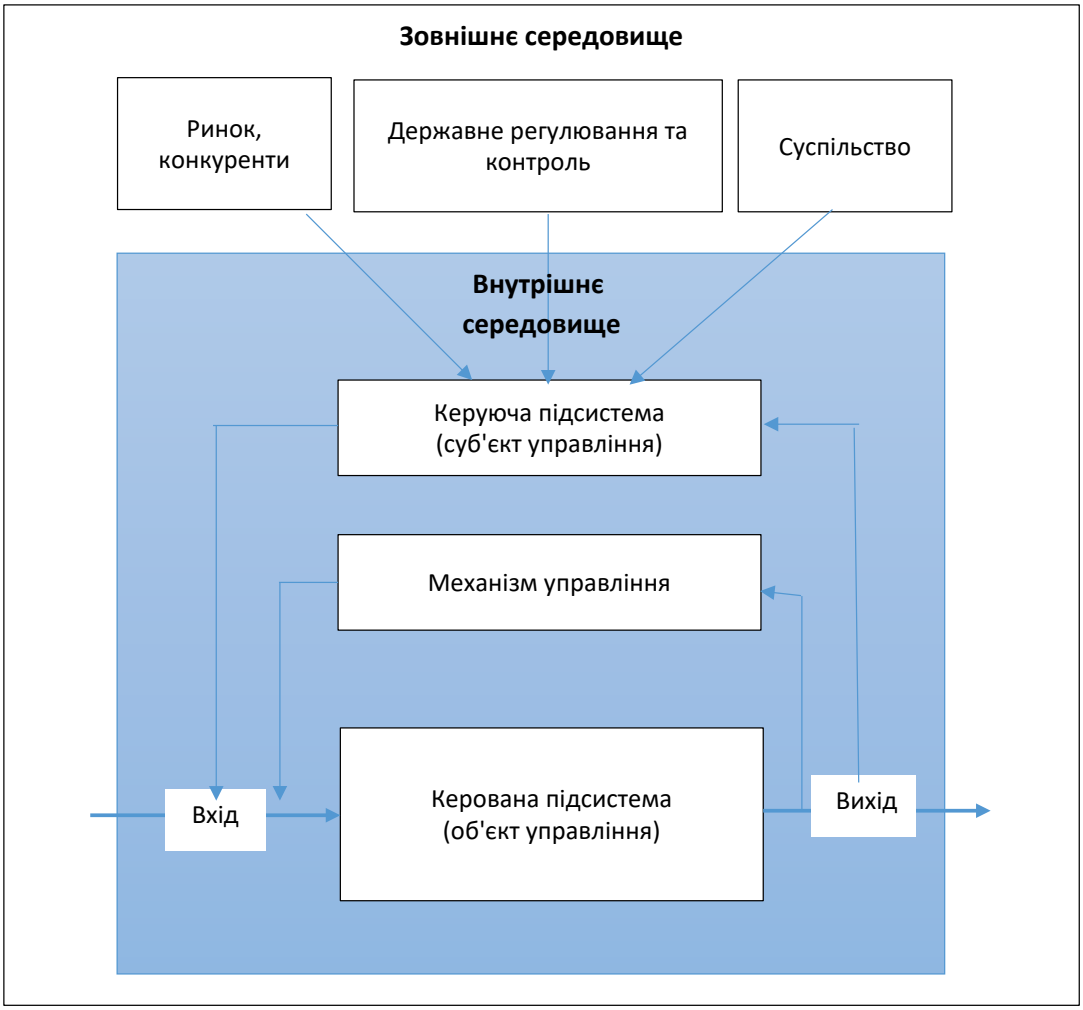


Рис. 2. Місце механізму управління у системі менеджменту підприємства

Джерело: [12]

функції управління, організаційну структуру управління, управлінські кадри, техніко-технологічну складову управління, процеси і технології прийняття управлінських рішень, та інші. Сукупність організаційного та економічного механізму утворює організаційно-економічний механізм управління [9, 10].

У зв'язку з тим, що методичне забезпечення реструктуризації підприємств інвестиційно-будівельної сфери у формі цифрової трансформації має як ознаки організаційного, так і економічного механізмів, воно отримало назву організаційно-економічного механізму цифрової трансформації підприємств інвестиційно-будівельної сфери на основі об'єктно-адаптивного підходу. Щодо організаційно-економічного механізму на основі проведеного дослідження сформулюємо ряд положень:

– по-перше, його розробка проведена з урахуванням умови, що стратегія, цілі та завдання, а також план впровадження сформований на основі методичного підходу, тому питанням цілепокладання та планування приділяється мінімальна увага, основний обсяг спрямований на визначення порядку, змісту та результатів впровадження;

– по-друге, під час його розробки виконано роботи з диференціації змісту заходів щодо впровадження інформаційного моделювання з урахуванням виду діяльності підприємства, тобто застосовано об'єктно-адаптивний підхід;

– зазначена вище диференціація заходів не означає наявності принципових відмінностей у порядку етапів впровадження інформаційного моделювання, а стосується скоріше відмінностей у змісті робіт, що проводяться в рамках окремих заходів, а також методів та інструментів їх реалізації;

– диференціація стосується лише тих етапів та заходів, для яких це необхідно. Якщо етап впровадження та включені до нього заходи немає серйозної специфіки, що з видом діяльності, диференціація не проводиться;

– зміст етапів організаційно-економічного механізму та етапів впровадження, виділених у стратегії цифрової трансформації підприємств інвестиційно-будівельної, повинні знаходитися відповідно, тобто при розробці стратегії необхідно враховувати порядок етапів та склад заходів, включених до організаційно-економічного механізму;

– передбачається, що ще на етапі розробки стратегії цифрової трансформації було створено підрозділ, що координує процес впровадження, відповідно, саме цей підрозділ займається організацією та координацією заходів у складі організаційно-економічного механізму.

Організаційно-економічний механізм цифрової трансформації підприємств інвестиційно-будівельної сфери, сформований на основі об'єктно-адаптивного підходу, складається з 4-х блоків: інформаційно вналітичного, ресурсозабезпечувального, організаційного та реалізаційного. Розглянемо їх послідовно, відбиваючи диференціацію заходів залежно від виду діяльності підприємства (віднесення його до однієї з 4-х умовних груп) [5, 11, 12, 13].

Першим блоком організаційно-економічного механізму цифрової трансформації є інформаційно-аналітичний блок. Цей блок включає роботи з формування стратегії цифрової трансформації (збір та аналіз інформації, цілепокладання, визначення цілей та проміжних результатів). Крім того, в рамках цього блоку проводиться важливий захід, що визначає багато в чому силу опору змінам у процесі впровадження інформаційного моделювання, а отже, швидкість та успішність цього процесу – організаційні збори з колективом для інформування про впровадження інформаційного моделювання, під час якого колективу необхідно роз'яснити:

– принципи та методологію інформаційного моделювання (загалом), результати, які дозволяє досягати застосування інформаційного моделювання з прикладами інших компаній, результатами досліджень;

– мети та завдання впровадження інформаційного моделювання на даному конкретному підприємстві, проблеми підприємства, які можуть бути вирішені із застосуванням інформаційного моделювання;

– етапи впровадження. Важливо пояснити поступовість заходів, що проводяться, проінформувати про те, що витрати на навчання бере на себе підприємство, пояснити, що дані знання необхідні для професійного розвитку у зв'язку з тим, що масштаби застосування інформаційного моделювання зростають, у тому числі з'являються вимоги щодо обов'язковості застосування інформаційного моделювання у рамках будівництва об'єктів з державною участю. Також слід сказати, що буде можливість напрацювати навички в рамках пілотних проектів, щоб знизити тривожність членів колективу щодо ймовірності помилок під час роботи з новим програмним

забезпеченням та новим підходом до реалізації проектів тощо.

Другим блоком організаційно-економічного механізму є ресурсозабезпечувальний блок, в рамках якого організуються роботи з оснащення підприємства всіма необхідними ресурсами для впровадження інформаційного моделювання, а саме обладнанням, програмним забезпеченням та підготовленими кадрами.

Для виконання завдання забезпечення ресурсами процесу впровадження інформаційного моделювання проводиться уточнення завдань, які підприємство зможе/планує вирішувати за допомогою інформаційного моделювання, оскільки для реалізації різних завдань потрібне, відповідно, різне програмне забезпечення. Для кожного виду підприємств характерний свій набір завдань і, відповідно, вибір варіантів програмного забезпечення виконується на цій основі.

Потім необхідно проведення переговорів із замовниками (потенційними замовниками) визначення їхніх вимог до роботи з інформаційною моделлю. Це необхідно для того, щоб підібрати сумісне програмне забезпечення та забезпечити нормальну спільну роботу та автоматизовану інтеграцію розділів інформаційної моделі. Вимоги замовників є першорядними під час підбору програмного забезпечення. Також при підборі програмного забезпечення можуть бути враховані можливості підрядника, однак вони мають другорядне значення. На цій основі з наявних на ринку програмних продуктів підбирається той (або ті), які підприємство згодом набуває. Це програмне забезпечення визначає також вимоги до обладнання та кваліфікації персоналу – підбір програм навчання проводиться з обов'язковим урахуванням вимоги щодо формування знань та навичок роботи з конкретним програмним забезпеченням та виконанням за його допомогою конкретних завдань.

Далі слід провести тестування персоналу для визначення:

-Наявності знань і навичок роботи з підібраним програмним забезпеченням;

-Здатності навчатися роботі з новим програмним забезпеченням;

-бажання навчатися роботі з новим програмним забезпеченням.

Для проведення тестування (як і навчання та налагодження бізнес-процесів) можуть бути залучені консультанти. Слід зазначити, що немає необхідності навчати всіх без винятку працівників підприємства у наказовому порядку – це може призвести до зростання опору змін. Більше того, навчання можна організувати поетапне: спочатку найбільш активні співробітники, потім поступово всі інші. При цьому в процесі впровадження та частина колективу, яка спочатку не виражала бажання вчитися працювати з інформаційним моделюванням, може приєднатися до процесу впровадження.

Результатом заходів даного блоку є формування повного переліку закупівель (програмне забезпечення, обладнання та навчання) та їх організація. Зазначимо, що наявність фінансових ресурсів є найважливішим фактором впровадження інформаційного моделювання, відсутність фінансових ресурсів і необхідність їх накопичення може розтягнути процес впровадження на тривалий термін. Більше того, відсутність фінансових ресурсів для накопичення, зазвичай характерне для підприємств з високою ймовірністю банкрутства, робить процес впровадження практично нездійсненним до відновлення фінансової стійкості та ліквідності підприємства.

Наступним блоком організаційно-економічного механізму є організаційний блок. У межах цього блоку проводиться визначення груп співробітників в організації для подальшої роботи. Визначаються співробітники, які на високому рівні оволоділи компетенціями роботи із застосуванням програмного забезпечення (це можуть бути співробітники підприємства, що найбільш успішно пройшли навчання, а також найняті співробітники зі знаннями та досвідом). На їх основі формується експертна (консультативна) група, представники якої будуть в процесі впровадження надавати підтримку частині колективу, що навчається – консультувати, допомагати розібратися з невідпрацьованими завданнями і інші. Для працівників, які проходять навчання, визначається порядок та програми навчання відповідно до виконуваних обов'язків. Також у зв'язку з тим, що немає потреби абсолютно весь персонал відразу переводити на інформаційне моделювання, в колективі залишаються й ті співробітники, які (можливо, тимчасово) продовжують працювати із застосуванням традиційних способів. Їх значення не можна применшувати, оскільки вони у процесі реструктуризації та впровадження інноваційних технологій виконують найваж-

ливішу роль – забезпечують працездатність підприємства та виконання ним своїх зобов'язань за укладеними договорами.

Слід зазначити, що перехід на інформаційне моделювання пов'язаний, як правило, з тимчасовим, але досить серйозним збільшенням навантаження на персонал: крім необхідності виконувати свої обов'язки, вони повинні проходити навчання, виконувати роботи в рамках пілотного проекту. У цій ситуації для підтримки зацікавленості співробітників у роботі та навчанні, а також зниження ймовірності появи (або сили прояву) опору змінам слід розробити систему мотивації, спрямовану на досягнення показників стратегії цифрової трансформації з орієнтацією на сформовану стратегію цифрової трансформації – її етапи та показники оцінки проміжних.

Далі слідує процес реалізації пілотних проектів, який можна розділити на 2 підетапи:

1) реалізація пілотного проекту (проектів) власними силами. Це означає проведення тренування з виконання робіт, передбачених будь-яким договором із застосуванням інформаційного моделювання. У цьому паралельно роботи виконуються традиційним способом. У рамках виконання пілотного проекту потрібно виконати технічне завдання із застосуванням нового програмного забезпечення та підходу до реалізації проекту, тобто продублювати реальний проект у системі інформаційного моделювання. Як правило, продуктивність праці в рамках виконання таких пілотних проектів значно знижується щодо стандартної. Як правило, потрібно виконання кількох пілотних проектів. За виконання пілотних проектів формується середовище загальних даних усередині підприємства;

2) реалізація пілотного проекту (проектів) разом із контрагентами – замовниками робіт і підрядниками, у межах якої організується середовище загальних даних із проекту з регламентацією прав доступу. У межах виконання пілотних і надалі реальних проектів функції підприємств різних груп різняться. Так, підприємства із групи девелоперів визначають вимоги до інформаційної моделі та її деталізації, а також виконують розробку концептуальної інформаційної моделі. Підприємства із групи проектувальників виконують проект відповідно до вимог замовників робіт (у даному випадку – відповідно до вимог, сформованих підприємствами з групи інвесторів, у тому числі за рівнем деталізації, форматом даних та ін.). Підприємства із групи виконавців мають забезпечити «читання» проекту з необхідною деталізацією (перегляд та інтерпретація даних інформаційної моделі, у тому числі для визначення необхідного обсягу матеріалів та трудовитрат), виконання робіт відповідно до проекту (інформаційної моделі), а також доповнення інформаційної моделі та порівняння фактично виконаного обсягу з інформаційною моделлю.

Експлуатаційні організації також повинні мати компетенції «читання» проекту з необхідною деталізацією (перегляд та інтерпретація даних інформаційної моделі) для ознайомлення з конструктивними особливостями та інженерним обладнанням об'єкта – його розташуванням, характеристиками, вимогами до обслуговування, ремонту, нормативними термінами служби тощо. Це дозволяє експлуатуючій організації визначати терміни проведення тих чи інших робіт, складати графіки технічного обслуговування, ремонту, заміни обладнання, визначати необхідні характеристики обладнання у разі потреби його заміни. Інформація про проведення робіт із заміни та ремонту обладнання відображається експлуатуючою організацією в інформаційній моделі, яка на стадії експлуатації називається «експлуатаційна інформаційна модель».

У процесі реалізації пілотних проектів проводиться розподіл/перерозподіл обов'язків співробітників щодо виконання робіт, відпрацьовуються нові (змінені) бізнес-процеси, з'являються нові ролі, що дозволяє за підсумками їх реалізації провести організаційну та виробничу реструктуризацію, в ході якої закріплюються нові ролі, з'являються нові посади та підрозділи, порядок виконання робіт та взаємодії. Найбільшою мірою виробнича та організаційна реструктуризація зачіпає організації із групи проектувальників – процеси проектування значно перетворюються, зміни можна назвати революційними.

В організаціях з'являються нові посади, не характерні для реалізації проектів традиційним способом – BIM-менеджер, BIM-координатор та BIM-автор та ін.

– BIM-автор розробляє інформаційну модель;

– BIM-координатор займається перевіркою моделей, розроблених BIM-авторами, на відповідність чинним стандартам, і формує зведену модель, якщо в кожному розділі була сформована окрема модель;

– BIM-менеджер відповідає за ефективну координацію всіх учасників проекту серед загальних даних [26].

Оскільки реалізація пілотних проектів дозволяє розподілити ролі (відповідальність, функції) та скоригувати або навіть провести реінжиніринг бізнес-процесів та відпрацювати їх на практиці, з'являється можливість сформулювати правила та принципи реалізації проектів на основі інформаційного моделювання у локальних нормативних актах – корпоративному BIM-регламенті та корпоративному BIM.

Як правило, підприємства орієнтуються насамперед на положення національного BIM-стандарту. Визначені на національному рівні стандарти реалізації інфвестиційно-будівельного проекту із застосуванням інформаційного моделювання носять, як правило, узагальнений характер і потребують конкретизації на рівні підприємств, для чого і розробляється корпоративний BIM-стандарт, який описує правила формування та роботи з інформаційною моделлю на рівні підприємства. Корпоративний BIM-стандарт замовника робіт, як правило, є основою для формування та опису в технічному завданні вимог до виконавця робіт. При цьому замовником може бути генеральний проектувальник, а виконавцем – проектувальник, який виконує роботи з окремого розділу проектної документації, тобто інформаційної моделі; також замовником робіт може бути генеральний підрядник, а виконавцем – підрядник. Однак ключову роль у визначенні вимоги до роботи з інформаційною моделлю буде BIM-стандарт підприємств із групи «девелопери» – замовника, технічного замовника.

BIM-регламент підприємства містить докладні інструкції щодо реалізації проекту на основі інформаційного моделювання та у загальному сенсі містить покрокові вказівки щодо досягнення закріпленого стандарту роботи з інформаційною системою інформаційного моделювання. Необхідна розробка даних регламентуючих документів лише на рівні підприємства, оскільки вони формують єдине розуміння еталонів як процесів роботи, і досягнутих результатів.

Також в ході організації поточних виробничих та забезпечувальних процесів із застосуванням інформаційного моделювання виконується робота з реальними проектами із застосуванням інформаційного моделювання, а також при виявленні необхідності – дооснащення підприємства ресурсами, зокрема обладнанням, програмним забезпеченням. Також проводиться додаткове навчання співробітників. На цьому етапі до навчання можуть приєднатися і ті співробітники, які на початковому етапі не мали мотивації до навчання та відмовилися від нього. Як правило, наявність наочних результатів впровадження та застосування інноваційної технології значно знижує опір змінам та формує позитивні очікування щодо застосування технології на підприємстві та своєї участі у роботі із застосуванням інноваційних технологій.

Висновки. Таким чином, на основі інформаційно-аналітичної, ресурсозабезпечуючої та організаційної діяльності формуються передумови для реалізації цілей та завдань стратегії цифрової трансформації: проводиться поетапний моніторинг проміжних результатів та по закінченні реалізації стратегії – їхня підсумкова оцінка. При цьому кожної групи підприємств формуються різні ефекти.

Для представників групи «девелопери» ефекти неекономічного характеру включають:

– скорочення терміну будівництва;
– висока якість будівництва;
– зниження вартості будівництва;
– оптимізацію експлуатаційних витрат та ін.

Всі вони в сукупності призводять до формування ефектів економічного характеру – підвищення прибутку та рентабельності проекту та підвищення прибутку та рентабельності підприємства в цілому.

Для представників групи «проектувальники» ефекти неекономічного характеру включають:

– скорочення терміну проектування (досягається поступово з накопиченням бази даних елементів, напрацюванням досвіду);
– висока якість проектної документації;
– скорочення термінів внесення змін до проекту та перерахунку та ін.

Всі вони в сукупності призводять до формування ефектів економічного характеру – підвищення прибутку та рентабельності участі у проекті та підвищення прибутку та рентабельності підприємства в цілому.

Для представників групи «виконавці» ефекти неекономічного характеру включають:

– скорочення терміну будівництва;
– висока якість будівництва;
– скорочення простоїв;
– скорочення переробок;
– скорочення витрати будівельних матеріалів та ін.

Всі вони в сукупності призводять до формування ефектів економічного характеру – підвищення прибутку та рентабельності участі у проекті та підвищення прибутку та рентабельності підприємства в цілому.

Для представників групи «експлуатують організації» ефекти неекономічного характеру включають:

– зниження трудомісткості робіт з експлуатації;

– підвищення швидкості пошуку та усунення несправностей

– підвищення якості експлуатації об'єкта та ін.

Всі вони в сукупності призводять до формування ефектів економічного характеру – підвищення прибутку та рентабельності об'єкта експлуатації для підприємства в рамках його виробничої діяльності, а також підвищення прибутку та рентабельності підприємства загалом.

Представлений організаційно-економічний механізм цифрової трансформації підприємств інвестиційно-будівельної має як наукову, так і практичну значимість у зв'язку з тим, що:

– вперше сформовано та системно представлено порядок дій підприємств інвестиційно-будівельної сфери при переході на інформаційне моделювання, що відрізняються урахуванням видів діяльності підприємств на основі об'єктно-адаптивного підходу;

– є основою для розробки та прийняття обґрунтованих управлінських рішень у процесі цифрової трансформації підприємств інвестиційно-будівельної сфери, спрямованої на перехід на інформаційне моделювання.

Література

1. Anil S, Knight A. Digitalisation in construction report 2023. June 2023 / Sam Birch (Editor). London : Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), 2023. 32 p. ISBN 978-178321-500-3

2. Plusquellec T., Lehoux N., Cimon Y. Design-Build in Construction: Performance and Impact on Stakeholders. In: LC3 2017 Vol. II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Heraklion, Greece, 2017, pp. 35–43. DOI: https://doi.org/10.24928/2017/0057 256

3. Thakkar J.J. Project Risk Control and Management. In: Project Management. Management and Industrial Engineering. Singapore: Springer, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-3695-3_11

4.Зельцер Р. Я. Інноваційні моделі і методи організації, управління і економічної оцінки технологічних процесів будівельного виробництва : монографія. Київ : Леся, 2018. 208 с.

5.Куліков П.М., Виноградов В.В. Організація, планування і управління в будівництві: підручник. 2-е вид. Київ: «Видавництво Людмила», 2023. 580 с.

6.Pryhodko O., Kushnir I., Hrynenko I., Khomenko O. Innovative analytical and applied apparatus for modeling the organization of construction and development support of projects. *International independent scientific journal*. 2021. № 34 (2). P. 6–11. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7061509

7.Andersen E.S. Rethinking Project Management – An Organisational Perspective. Prentice Rethinking. Harlow, Prentice Hall, 2008. 345 p. DOI: https://doi.org/10.1108/sd.2010.05626cae.001

8.Turner R. Gower Handbook of Project Management. 5th Edition. 2014 London : Routledge. 580 p. DOI: https://doi.org/10.4324/9781315585741

9. Samuelson O., Stehn L. Digital Transformation in Construction – A Review. *Journal of Information Technology in Construction* (ITcon). 2023. Vol. 28. P. 385–404. DOI: https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.020

10. Olanipekun A.O., Sutrisna M. Facilitating Digital Transformation in Construction—A Systematic Review of the Current State of the Art. *Frontiers in Built Environment*. 2021. Vol. 7. DOI: https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.660758

11. Chernyshev D., Ryzhakova G., Honcharenko T., Petrenko H., Chupryna I., Reznik N. Digital Administration of the Project Based on the Concept of Smart Construction. In: Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-08954-1_114

12. Чернишев Д. О., Рижаков Д. А., Хоменко О. М., ..., Горбач М. В. Цифрові технології як інноваційні тренди структурнотрансформаційних зрушень у системі управління підприємств-стейкхолдерів будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 46. С. 118–130. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.46.118-130.6

13.Методологія керування бізнесом в умовах цифровізації : монографія / А. П. Грінько, П. Л. Гринько, Н. Г. Ушакова, Т. В. Андросова, О. А. Кулініч, І. І. Помінова. Харків : МОНОГРАФ, 2022. 199 с. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/24178/1/Mono_tsyfrovizatsiya_201.pdf

14.Digital Innovations in the Socio-Economic Sphere. Afanasieva N. (Editor). Katowice : The University of Technology in Katowice Press, 2023. 308 p.

15.Пустоваров А.І. Закордонний досвід цифрової трансформації управління розвитком національної економіки. *Причорноморські економічні студії*. 2020. № 51. С. 261–267. DOI: https://doi.org/10.32843/bses.51-42

16. Tugai O.A., Hryhorovskyi P.Ye., Khyzhniak V.O., ... Chernyshev D.O. Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. 136 p. DOI: https://doi.org/10.36059/978-966-397-166-7/1-23

17.Білик А.С., Беляєв М.А. BIM-моделювання. Огляд можливостей та перспективи в Україні. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2015. № 2. С. 9–15 URL: https://topuch.com/download/onyattya-ta-istoriya-viniknennyavim.pdf

18.Маркевич К.Л. Цифровізація: переваги та шляхи подолання викликів. Digital Business transformation: challenges and opportunities for partnership: Materials of International scientific-practical conference (Melitopol, September 9-10, 2021) / editorial board D. Legeza, Y. Sokil [et al.] / TSATU. Melitopol : LLC COLOR PRINT, 2021. С. 42–45. URL: http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/17181/1/Digital%20Business_2021_Mel itopol_.pdf
19. Organizational and technological model engineering in the construction industry: collective monograph / P. Ye. Hryhorovskyi, S. P. Stetsenko, O. I. Menejljuk, A. S. Molodid, G. Ryzhakova, etc. Lviv-Toruń : Liha-Pres, 2019. 128 p. DOI: https://doi.org/10.36059/978-966-397-165-0/105-121
20.Kucherenko O., Ryzhakova, G., Chupryna K., Shpakova H., Kishchak N. Veremeev S. Scientific and applied components of the formation of the strategy of institutional-oriented diversification of construction enterprises. *Management of development of complex systems*. 2021. № 47. С. 109–118. DOI: https://doi.org/32347/2412-9933.2021.47.109-118
21.Cagnin C., Havas A., Saritas O. Future-oriented technology analysis: Its potential to address disruptive transformations. *Technological Forecasting and Social Change*. 2013. Vol. 80, pp. 379–385. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.10.019
22.Чуприна Х. М., Іщенко Т. М., Савчук Т. В., Дикий О. В., Поколенко В. О., Веремєєва Т. І. Оновлення інструментарію економіко-управлінської реконфігурації бізнес-процесів будівельних підприємств у контексті сучасної парадигми цифровізації економіки. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 46. С. 131–140. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.46.131-140
23.Malikhina O. M. Methodological regulation and analytical and information support of the management of organizations in the modern system of construction. *Formation of market relations in Ukraine*. 2021. № 7–8. С. 59–65.
24. Орленко І. М., Жалдак Р. Ю., Приходько О. О., Шпаков А. В. Модифікація методично-прикладного інструментарію діагностики фінансового стану будівельного підприємства в контексті санаційного менеджменту. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2021. № 46. С. 100–107. URL: https://urss.KNUCA.edu.ua/files/zbirnyk-46/16.pdf
25. Dolla T., Jain K., Delhi V.S.K. Strategies for Digital Transformation in Construction Projects: Stakeholders' Perceptions and Actor Dynamics for Industry 4.0. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 2023. Vol. 28. DOI: https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.008
26. System configuration of construction management: modernization of methodical and analytical tools: col. Monograph. Edited by G. M. Ryzhakova. Kyiv: Publishing House of DNDI of Informatization and Economics, 2020. 428 p.
27. Nikolaiev V.P., Hryhorovskyi P.Ye., Khyzhniak V.O., Ryzhakova G.M., Bielienkova O.Yu., Molodid O.S. Technical and economic aspects of real estate properties: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. 124 p. DOI: https://doi.org/10.36059/978-966-397-167-4/62-78

References

1. Anil S. & Knigh A. (2023). *Digitalisation in construction report 2023* (S. Birch, Ed.). Royal Institution of Chartered Surveyors.
2. Plusquellec T., Lehoux N. & Cimon Y. (2017). Design-build in construction: Performance and impact on stakeholders. In *Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 2017)* (Vol. 2, pp. 35–43). https://doi.org/10.24928/2017/0057
3. Thakkar J. J. (2022). Project risk control and management. In *Project management* (Management and Industrial Engineering). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3695-3_11
4. Zeltser R.Ya. (2018). Innovative models and methods of organization, management and economic assessment of technological processes of construction production: monograph. Kyiv: Lesya, 208 p.
5. Kulikov P.M., Vinogradov V.V. (2023). Organization, planning and management in construction: textbook. 2nd ed. Kyiv: Lyudmila, 580 p.
6. Pryhodko O., Kushnir I., Hrynenko I. & Khomenko O. (2021). Innovative analytical and applied apparatus for modeling the organization of construction and development support of projects. *International Independent Scientific Journal,* 34(2), 6–11. https://doi.org/10.5281/zenodo.7061509
7. Andersen E. S. (2008). *Rethinking project management: An organisational perspective*. Prentice Hall.
8. Turner R. (2014). *Gower handbook of project management* (5th ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315585741
9. Samuelson O. & Stehn L. (2023). Digital transformation in construction: A review. *Journal of Information Technology in Construction,* 28, 385–404. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.020
10. Olanipekun A. O. & Sutrisna M. (2021). Facilitating digital transformation in construction—A systematic review of the current state of the art. *Frontiers in Built Environment*, 7. https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.660758
11. Chernyshev D., Ryzhakova G., Honcharenko T., Petrenko H., Chupryna I. & Reznik N. (2023). Digital administration of the project based on the concept of smart construction. In *Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08954-1_114
12. Chernyshev D. O., Ryzhakov D. A., Khomenko O. M. et al. (2021). Digital technologies as innovative trends of structural and transformational shifts in the management system of construction stakeholder enterprises. *Management of complex systems development,* 46, 118–130. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.46.118-130
13. Grinko A. P., Grinko P. L., Ushakova N. G., Androsova T. V., Kulinich O. A. & Pominova I. I. (2022). Methodology of business management in the context of digitalization. Monograph.
14. Afanasieva N. (Ed.). (2023). *Digital innovations in the socio-economic sphere*. The University of Technology in Katowice Press.
15. Pustovarov A. I. (2020). Foreign experience of digital transformation of national economic development management. *Black Sea Economic Studies,* 51, 261–267. https://doi.org/10.32843/bses.51-42
16. Tugai O. A., Hryhorovskyi P. Ye., Khyzhniak V. O., Chernyshev D. O. et al. (2019). *Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry.* Liha-Pres. https://doi.org/10.36059/978-966-397-166-7/1-23

17. Bilyk A. S. & Belyae M. A. (2015). VIM modeling. Review of opportunities and prospects in Ukraine. *Industrial Construction and Engineering Structures,* 2, 9–15.
18. Маркевич К. Л. (2021). Цифровізація: переваги та шляхи подолання викликів. In D. Legeza et al. (Eds.), *Digital Business Transformation: Challenges and Opportunities for Partnership* (pp. 42–45). TSATU.
19. Hryhorovskyi P. Ye., Stetsenko S. P., Menejljuk O. I., Molodid A. S., Ryzhakova G. et al. (2019). *Organizational and technological model engineering in the construction industry.* Liha-Pres. https://doi.org/10.36059/978-966-397-165-0/105-121
20. Kucherenko O., Ryzhakova G., Chupryna K., Shpakova H., Kishchak N. & Veremeev S. (2021). Scientific and applied components of the formation of the strategy of institutional-oriented diversification of construction enterprises. *Management of Development of Complex Systems,* 47, 109–118. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.47.109-118
21. Cagnin C., Havas A. & Saritas O. (2013). Future-oriented technology analysis: Its potential to address disruptive transformations. *Technological Forecasting and Social Change,* 80(3), 379–385. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.10.019
22. Chupryna Kh. M., Ishchenko T. M., Savchuk T. V., Dykyi O. V., Pokolenko V. O. & Veremeeva T. I. (2021). Updating the tools for economic and managerial reconfiguration of business processes of construction enterprises in the context of the modern paradigm of digitalization of the economy. *Management of the development of complex systems,* 46, 131–140. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.46.131-140
23. Malikhina O. M. (2021). Methodological regulation and analytical and information support of the management of organizations in the modern system of construction. *Formation of Market Relations in Ukraine,* 7–8, 59–65.
24. Orlenko I. M., Zhaldak R. Yu., Prykhodko O. O. & Shpakov A. V. (2021). Modification of methodological and applied tools for diagnosing the financial condition of a construction enterprise in the context of rehabilitation management. *Management of complex systems development,* 46, 100–107.
25. Dolla T., Jain K. & Delhi V. S. K. (2023). Strategies for digital transformation in construction projects: Stakeholders' perceptions and actor dynamics for Industry 4.0. *Journal of Information Technology in Construction,* 28. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.008
26. Ryzhakova G. M. (Ed.). (2020). *System configuration of construction management: Modernization of methodical and analytical tools.* Publishing House of DNDI of Informatization and Economics.
27. Nikolaiev V. P., Hryhorovskyi P. Ye., Khyzhniak V. O., Ryzhakova G. M., Bielienkova O. Yu. & Molodid O. S. (2019). *Technical and economic aspects of real estate properties.* Liha-Pres. https://doi.org/10.36059/978-966-397-167-4/62-78

ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM OF DIGITAL TRANSFORMATION OF ENTERPRISES OF THE INVESTMENT AND CONSTRUCTION SPHERE BASED ON AN OBJECTIVE-ADAPTIVE APPROACH

Abstract. *The article is devoted to solving the scientific and applied problem of creating an organizational and economic mechanism of digital administration and digital transformation of enterprises in the construction industry in general and investment and construction enterprises in particular. The relevance of the research topic is due to the following prerequisites: digital management and modern management technologies are dominant in the transformation of approaches to both the management of construction enterprises and the formation of the environment for the functioning of the investment and construction sector.*

It is proved that in the conditions of the development of the digital economy and the growth of requirements for the efficiency of construction project management, digitalization is becoming a key factor in increasing the competitiveness of enterprises in the industry, ensuring their sustainability and adaptation to dynamic changes in the external environment.

The article defines an objective-adaptive approach as the basic basis for the digital transformation of enterprises in the investment and construction sector. The article is devoted to creating a toolkit for combined organizational and economic, digital and management modeling of the work of enterprises in the investment and construction sector. The organizational and economic mechanism of digital transformation of enterprises in the investment and construction sector presented in the article has both scientific and practical significance due to the fact that the procedure for the actions of enterprises in the investment and construction sector when transitioning to information modeling has been formed and systematically presented, which differ in terms of the types of activities of enterprises based on an object-adaptive approach and is the basis for developing and making sound management decisions in the process of digital transformation of enterprises in the investment and construction sector aimed at transitioning to digital technologies.

The study takes into account the characteristics of different groups of participants in investment and construction projects: developers, designers, construction contractors and operating organizations. Their functional tasks at different stages of the life cycle of a construction object and the features of the use of information modeling technologies (BIM) have been determined. The relationship between

the production functions of enterprises, the necessary digital competencies of personnel, software and resource support for digitalization processes has been revealed.
The organizational and economic mechanism of digital transformation is structured in the form of four interconnected blocks: information and analytical, resource provision, organizational and implementation. The content of each block, the sequence of information modeling implementation, personnel training tools, the formation of digital infrastructure, the development of corporate BIM standards and regulations, as well as mechanisms for coordinating digital transformation participants are determined.
Key words: construction, construction companies, digitalization, competitiveness, organizational-economic mechanism.

V. P. Leshchinsky
Doctor of Law, Associate Professor of the Department
of Agricultural Economics and Management,
Kyiv Agrarian University
of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv

V. F. Bartko
Postgraduate Student of the Department of Management in Construction,
Kyiv Agrarian University
of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv

Дата першого надходження статті до видання: 22.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

ЗМІСТ

Батракова А. Г., Шелкова І. С., Дорожко Є. В., Урдзік С. М., Бессарабов О. О.
ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ НАЗЕМНОГО 3D-СКАНУВАННЯ ЛІНІЙНИХ МОСТОВИХ СПОРУД 3

Василишин В. Я., Борсук Н. Г., Єрузель О. В., Скрипин Т. В., Березовський Ю.Л.
ГРОМАДСЬКІ ПРОСТОРИ: КОМПЛЕКСНИЙ ДИЗАЙН СЕРЕДОВИЩА 10

Гончарова І. В., Вакуленко В. І., Черверда А. М., Данилюк Н. Я., Капак І. М.
АРХІТЕКТУРНИЙ ПОСТПРОДАКШН, 3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, ІНТЕР'ЄРНИЙ, ЛАНДШАФТНИЙ ТА ВЕБДИЗАЙН У ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ 15

Захарчук О. П., Шпінталь М. Я., Бряк М. В.
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ 21

Козак Н. Ф., Кривенко О. В.
ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ НАПРЯМ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ В ПОВОЄННІЙ УКРАЇНІ 27

Несевря П. І., Лагутчев Д. М.
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ У БУДІВНИЦТВІ ЛОГІСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ 35

Lepska L. A.
NEW URBANISM OF RECONSTRUCTION IN A POST-CONFLICT ENVIRONMENT: PARADIGMS AND PRINCIPLES OF RESTORING THE ARCHITECTURAL FUND DESTROYED AS A RESULT OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR 46

Ляліна Н. П., Огороднік І. В., Бондаренко О. П.
ІННОВАЦІЙНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ КОНОПЕЛЬ: ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ 59

Максимов А. С., Покровська Н. М.
АСОРТИМЕНТНА ПОЛІТИКА ВИРОБНИЦТВА БЕТОНУ В УМОВАХ СУЧАСНОГО РИНКУ: СТРАТЕГІЧНІ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА МАРКЕТИНГОВІ АСПЕКТИ 69

Мусієнко І. В.
ПРОГРАМНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ТРАСУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ – ГНУЧКИЙ БРАСЛЕТ: ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ТРАСИ В ПЛАНІ 76

Непочатих Є. А., Губанов О. В., В'язовський В. Є., Мелкомукова М. Г., Бережна А. О.
ЕМОЦІЙНА АРХІТЕКТУРА ЯК СИНТЕЗ МИСТЕЦТВА, ІСТОРІЇ ТА СУЧАСНОГО ФОРМОТВОРЕННЯ 85

Пастухова С. В., Мішук К. М., Кузнєцов В.А.
БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ІСНУЮЧОГО БУДИНКУ ЯК ОСНОВА ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ 93

Posternak S. O., Posternak I. M., Posternak O. S.
ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY BUILDINGS OF HEALTH CARE INSTITUTIONS OF THE CITY OF ODESA CERTIFIED IN 2025 103

Рагулін С. В., Шарабайко О. М.
ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І АНАЛІЗУ КОСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ 112

Розум Р. І., Попович П. В., Вітровий А. О., Буяк А. Є., Галиш Н. А.
МЕТОДОЛОГІЯ БАГАТОПАРАМЕТРОВОГО ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЖИВУЧОСТІ НЕСУЧИХ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ 119

Палагіцький В. І., Скрипник А. Л., Скрипник О. В.
МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ З УРАХУВАННЯМ ЕКОНОМІЧНОЇ ЦИКЛІЧНОСТІ 125

Гойко А. Ф., Сорокіна Л. В., Лич В. М.
ЕКОНОМІЧНА БЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ ЯК ІНДИКАТОР ФАЗ ДІЛОВОГО ЦИКЛУ 137

Ратніков Д. Г.
ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРАТИВНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ЕКОНОМІЧНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНОГО ДЕВЕЛОПМЕНТУ 149

Фесун А. С., Шилюк П. П.
ТРАНСФОРМАЦІЯ БІЗНЕС-МОДЕЛЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ: ЕКОНОМІКО-АНАЛІТИЧНИЙ ПІДХІД 158

Лещінський В. П., Барко В. Ф.
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНОЇ СФЕРИ НА ОСНОВІ ОБ'ЄКТНО-АДАПТИВНОГО ПІДХОДУ 168

CONTENTS

Batrakova A. H., Shelkova I. S., Dorozhko Ye. V., Urdzik S. M. Bessarabov O. O.
FEATURES OF ORGANISING TERRESTRIAL 3D SCANNING OF LINEAR BRIDGE STRUCTURES 3

Vasylyshyn V. Ya., Borsuk N. H., Yeruzel O. V., Skrypyn T. V., Berezovskyi Yu. L.
PUBLIC SPACES: INTEGRATED ENVIRONMENTAL DESIGN 10

Honcharova I. V., Vakulenko V. I., Cheverda A. M., Danyliuk N. Ya., Kapak I. M.
ARCHITECTURAL POST-PRODUCTION, 3D VISUALIZATION, INTERIOR, LANDSCAPE, AND WEB DESIGN IN THE DIGITAL ENVIRONMENT 15

Zakharchuk O. P., Shpintal M. Ya., Buriak M. V.
THE EFFECTIVENESS OF USING VIM TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF VENTILATION SYSTEMS 21

Kozak N. F., Krivenko O. V.
THE CIRCULAR ECONOMY AS A STRATEGIC APPROACH TO RECONSTRUCTION AND RECOVERY IN POST-WAR UKRAINE 27

Nesevria P. I., Lahutchev D. M.
MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE CONSTRUCTION OF LOGISTICS COMPLEXES 35

Lepska L. A.
NEW URBANISM OF RECONSTRUCTION IN A POST-CONFLICT ENVIRONMENT: PARADIGMS AND PRINCIPLES OF RESTORING THE ARCHITECTURAL FUND DESTROYED AS A RESULT OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR 46

Lialina N. P., Ogorodnik I. V., Bondarenko O. P.
INNOVATIVE HEMP-BASED BUILDING MATERIALS: TECHNICAL PROPERTIES AND ECOLOGICAL POTENTIAL 59

Maksimov A. S., Pokrovska N. M.
PRODUCT RANGE POLICY OF CONCRETE PRODUCTION IN THE CONDITIONS OF THE MODERN MARKET: STRATEGIC, TECHNOLOGICAL AND MARKETING ASPECTS 69

Musiienko I. V.
SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE FLEXIBLE BRACELET METHOD FOR HIGHWAY ALIGNMENT: FORMATION OF INPUT DATA FOR CALCULATING ROUTE PARAMETERS IN PLAN 76

Nepochatykh Ye. A., Hubanov O. V., Viazovskyi V. Ye., Melkomukova M. H., Berezhna A. O.
EMOTIONAL ARCHITECTURE AS A SYNTHESIS OF ART, HISTORY AND CONTEMPORARY DESIGN 85

Pastukhova S. V., Mishuk K. M., Kuznietsov V. A.
CONSTRUCTION AND TECHNICAL EXPERTISE OF THE EXISTING BUILDING AS A BASIS FOR FURTHER RECONSTRUCTION 93

Posternak S. O., Posternak I. M., Posternak O. S.
ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY BUILDINGS OF HEALTH CARE INSTITUTIONS OF THE CITY OF ODESA CERTIFIED IN 2025 103

Rahulin S. V., Sharabaiko O. M.
RESEARCH OF THE FUNCTIONING OF THE EXISTING SPACE SITUATION CONTROL AND ANALYSIS SYSTEM 112

Rozum R. I., Popovich P. V., Vitrovyy A. O., Buyak A. Ye., Halysh N. A.
METHODOLOGY FOR MULTI-PARAMETER ASSESSMENT OF RELIABILITY AND SURVIVABILITY OF LOAD-BEARING SYSTEMS FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE 119

Palagitsky V. I., Skrypnyk A. L., Skrypnyk O. V.
METHODICAL APPROACHES TO ASSESSING THE ECONOMIC SECURITY OF CONSTRUCTION ENTERPRISES TAKING INTO ACCOUNT ECONOMIC CYCLICALITY 125

Goyko A. F., Sorokina L. V., Lych V. M.
ECONOMIC SECURITY OF CONSTRUCTION ENTERPRISES AS AN INDICATOR OF THE PHASES OF THE BUSINESS CYCLE 137

Ratnikov D. H.
FORMATION OF AN INTEGRATIVE SYSTEM FOR DIAGNOSING THE ECONOMIC CAPACITY OF CONSTRUCTION DEVELOPMENT ENTERPRISES 149

Fesun A. S., Shyliuk P. P.
TRANSFORMATION OF BUSINESS MODELS OF CONSTRUCTION ENTERPRISES UNDER DIGITALIZATION: AN ECONOMIC AND ANALYTICAL APPROACH 158

Leshchinsky V. P., Bartko V. F.
ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM OF DIGITAL TRANSFORMATION OF ENTERPRISES OF THE INVESTMENT AND CONSTRUCTION SPHERE BASED ON AN OBJECTIVE-ADAPTIVE APPROACH 168

Регламенти контролю якості виконання будівельних робіт

1. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ**
2. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ**
3. Регламент контролю якості **ПРИ ЗВЕДЕННІ МОНОЛІТНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
4. Регламент контролю якості **ПРИ МОНТАЖІ ЗБІРНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
5. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
6. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**
7. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ МОНТАЖІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
8. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ НЕПРОХІДНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛІВ**
9. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ**
10. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПОКРІВЕЛЬ**
11. Регламент контролю якості **ОПОРЯДЖУВАЛЬНИХ РОБІТ**
12. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПІДЛОГ**
13. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ВІКОН І ДВЕРЕЙ**
14. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ ВНУТРІШНІХ САНІТАРНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**
15. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЕЛЕКТРОМОНТАЖНИХ РОБІТ**
16. Регламент контролю якості **РОБІТ ІЗ БЛАГОУСТРОЮ ТЕРИТОРІЇ**

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

Науково-технічний журнал

Випуск № 48

Дата розміщення онлайн: 30.07.2026. Дата друку: 31.07.2026.
Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 21,62.
Папір офсетний. Цифровий друк. Наклад 200 примірників. Замовлення № 0526/440.

Видавничий дім «Гельветика»
(Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.)
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел. +38 (048) 709 38 69, +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua