

УДК 72.01:004.9

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2026.39.12>

ЦИФРОВІ МОДЕЛІ КО-ДИЗАЙНУ В АРХІТЕКТУРІ АДАПТИВНИХ ПУБЛІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

Пашченко Ганна Вікторівна¹, Барбаш Марина Ігорівна²,
Корчевський Богдан Болеславович³

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри дизайн середовища,
Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну
імені Михайла Бойчука, Київ, Україна,

e-mail: anne_2010@ukr.net, orcid: 0000-0003-1455-5245

² старший викладач кафедри архітектури та дизайну,
Національний університет «Чернігівська політехніка», Чернігів, Україна,

e-mail: m_barbash@ukr.net, orcid: 0000-0003-2784-5030

³ кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки,
Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,
e-mail: b.b.korchevskiy@gmail.com, orcid: 0009-0004-3922-7701

Анотація. Сучасна архітектура адаптивних публічних середовищ стикається з низкою викликів, пов'язаних із динамічними соціальними та екологічними змінами. У цьому контексті цифрові моделі ко-дизайну набувають особливої значущості, оскільки вони дають змогу інтегрувати новітні технології в процес проектування й створювати гнучкі, функціональні простори, здатні відповідати потребам користувачів.

Метою статті є дослідження впливу цифрових моделей ко-дизайну на архітектуру адаптивних публічних середовищ, зокрема в контексті параметричного проектування, а також визначення їх потенціалу для формування просторів, що адаптуються до змінних умов.

Методологія дослідження поєднує теоретичні методи (аналіз, синтез, абстрагування, індукція й дедукція) та емпіричні підходи (спостереження).

Результати. У процесі дослідження проаналізовано основні концепції та принципи цифрових моделей у контексті ко-дизайну, а також визначено їх роль у проектуванні адаптивних публічних середовищ. Виявлено, що такі інструменти, як параметричне моделювання, інформаційне моделювання будівель (англ. Building Information Modeling, далі – BIM), генеративний дизайн, моделювання у віртуальній (далі – VR) і доповненій (далі – AR) реальності, цифрові двійники й геоінформаційні системи (далі – GIS), дають нові можливості для ефективного й гнучкого проектування. Основні принципи їх використання, такі як інтерактивність, робота з даними, візуалізація, симуляція, співтворення та модульність, сприяють формуванню адаптивних архітектурних рішень. Дослідження також охоплює аналіз практичних прикладів застосування параметричного проектування в адаптивних публічних середовищах, зокрема Galaxy SOHO в Пекіні, Phoenix International Media Centre, Zhuhai Jinwan Civic Art Centre, Vanke Center у Шеньчжені та Carapace Pavilion у Joshua Tree National Park. Ці кейси демонструють ефективність параметричного підходу в підвищенні функціональності й гнучкості архітектурних просторів. Особлива увага приділяється взаємодії різних учасників проектного процесу – архітекторів, користувачів і громад – у рамках ко-дизайну

адаптивних публічних середовищ. Дослідження показало, що активна участь усіх зацікавлених сторін сприяє створенню просторів, більш чутливих до потреб користувачів.

Наукова новизна статті полягає в систематизації знань щодо цифрових моделей ко-дизайну та їх впливу на процес проектування адаптивних публічних середовищ.

Практична значущість роботи проявляється в можливості застосування отриманих результатів для підвищення ефективності проектування сучасних публічних просторів, що відповідають вимогам суспільства.

Ключові слова: ко-дизайн, адаптивні середовища, параметричне проектування, цифрові моделі, архітектура, BIM, генеративний дизайн, інтерактивність, функціональність, гнучкість.

ВСТУП

Сучасна архітектура стикається з низкою викликів, пов'язаних із необхідністю адаптації публічних просторів до динамічних соціальних, економічних та екологічних змін. У цьому контексті особливо актуальним є формування гнучких і функціональних середовищ, здатних ефективно реагувати на потреби користувачів. Одним із перспективних напрямів розв'язання цих завдань є використання цифрових моделей ко-дизайну, які дають змогу інтегрувати знання та різні погляди учасників проектного процесу.

Застосування цифрових моделей, зокрема в рамках параметричного проектування, дає нові можливості для створення адаптивних публічних середовищ. Вони забезпечують інтерактивний процес проектування, у якому архітектори, користувачі й громади спільно формують простори, що відповідають їхнім потребам та очікуванням. Водночас, попри зростання популярності значених технологій, кількість досліджень, що комплексно оцінюють їх вплив на архітектуру адаптивних публічних середовищ, залишається недостатньою.

Актуальність дослідження визначається необхідністю комплексного розуміння не лише технічних аспектів цифрових моделей ко-дизайну, а й соціокультурних контекстів, у яких вони функціонують.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У сучасній архітектурній практиці зростає увага до цифрових моделей ко-дизайну, які дають змогу формувати адаптивні публічні середовища, орієнтовані на потреби різних груп користувачів та особливості урбаністичного контексту. Зокрема, Н. Вергунова й М. Білінова узагальнюють сучасні підходи до застосування ШІ й імерсивного дизайну в архітектурі, виокремлюючи основні тенденції, які формують потенціал професійного

розвитку та цифрової трансформації проектної практики, що дає змогу оцінити їх вплив на функціональність і гнучкість простору [3]. Авторську методику проектування архітектурних об'єктів із поєднанням інноваційних технологій, адаптивного й екологічного дизайну обґрунтовують Є. Чабан та Н. Криворучко, демонструючи її ефективність у створенні сталих, контекстно чутливих публічних просторів, що підвищують комфорт і функціональність для користувачів [9]. Основні напрями цифрової трансформації будівельної галузі висвітлюють М. Обідник та М. Обідник, акцентуючи на багатовимірному BIM та інтеграції Blockchain. Автори зазначають, що таке поєднання забезпечує прозорість, ефективність і керованість життєвим циклом будівель, а також демонструє, яким чином цифрові моделі підвищують надійність і гнучкість проектних рішень [7]. Дослідники С. Тарабон (S. Tarabon), К. Кальве (C. Calvet), В. Делбар (V. Delbar), Т. Дютуа (T. Dutoit) та Ф. Ісселін-Нондедеу (F. Isselin-Nondedeu) показують, що поєднання просторового цифрового моделювання міської динаміки й аналізу екологічних мереж допомагає визначати найбільш ефективні стратегії компенсації втрат біорізноманіття, сприяючи досягненню цілей нульової чистої втрати й забезпеченню адаптивності простору [23]. Науковці П. Нг (P. Ng), С. Чжу (S. Zhu), І. Лі (Y. Li) та Й. ван Амейде (J. van Ameijde) доводять, що міжпоколінна співпраця в процесі ко-дизайну міських публічних просторів із VR-технологіями значно впливає на характер взаємодії, рівень залученості й інклюзивність рішень, роблячи простір більш комфортним для різних груп користувачів [18]. Три підходи до партисипативних процесів систематизує Дж.С. Палеро (J.S. Palero), спираючись на теоретичні моделі Дж. Тернера, Н.Дж. Хабракена й К. Александера й демонструючи, як методологічні принципи можуть

формувані ефективні стратегії взаємодії між фахівцями й мешканцями [19]. Сутність партисипативного проектування узагальнює Г. Сановф (H. Sanoff), підкреслюючи, що активне залучення громадян підвищує якість рішень і формує спільнотну взаємодію. Автор також описує широкий спектр методів, що забезпечують ефективність таких процесів [21]. Інтеграцію артоб'єктів у сучасний інтер'єрний простір досліджує О. Пилипчук, показуючи, як цифрові технології забезпечують динамічність, партисипативність і гібридизацію, трансформуючи простір у функціональне й естетично інноваційне середовище [8]. Категоризацію гібридних форм мистецтва, таких як відеоігри, спираючись на концепції Дж. Левінсона, аналізує С. Анскомб (S. Anscomb), демонструючи, що поєднання традиційних і нових практик може збагачувати критичне й естетичне сприйняття простору [11]. Формування імерсивних середовищ у фізичних, віртуальних і гібридних просторах вивчає О. Чепелик (O. Cherpelyk), аналізуючи VR/AR-проекти сучасного українського мистецтва та їх поєднання з урбаністичними практиками, що підкреслює значення мультивекторності у створенні адаптивних публічних просторів [10]. Отже, аналіз сучасних наукових джерел дає змогу стверджувати, що поєднання цифрових технологій, партисипативних підходів та інноваційних методик забезпечує створення функціональних, гнучких та інклюзивних просторів. Інтеграція ШІ, VR/AR та інструментів організації взаємодії між учасниками проектування сприяє оптимізації процесів розроблення й підвищує соціальну значущість публічних об'єктів.

Проте, попри активний розвиток цифрових технологій, імерсивного дизайну й партисипативних практик, у створенні адаптивних публічних просторів залишаються нерозв'язані проблеми. До них належать недостатня інтеграція цифрових платформ, обмежені інструменти узгодження інтересів користувачів, складність масштабування інновацій і потреба в чітких методологіях поєднання ШІ, VR/AR та участі громад. Внесок статті полягає в системному дослідженні ролі цифрових моделей ко-дизайну та параметричного проектування у формуванні адаптивних публічних просторів, що дає змогу розширити розуміння методів створення гнучких і функціональних архітектурних рішень, орієнтованих на реальні потреби користувачів, і сприяє подоланню наявних прогалів у практиках проектування публічних середовищ.

МЕТА

Мета статті – дослідити вплив цифрових моделей ко-дизайну на архітектуру адаптивних публічних середовищ, зокрема в контексті параметричного проектування, для виявлення їх потенціалу у створенні гнучких і функціональних просторів, що відповідають потребам користувачів.

Завдання дослідження:

1) проаналізувати основні концепції та принципи цифрових моделей у контексті ко-дизайну, зокрема їх роль у проектуванні адаптивних середовищ і публічних просторів;

2) вивчити приклади використання параметричного проектування в архітектурі адаптивних публічних середовищ, оцінити їх ефективність і вплив на функціональність і гнучкість простору;

3) з'ясувати, як різні учасники (архітектори, користувачі, громади) взаємодіють у процесі ко-дизайну адаптивних публічних середовищ.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Сучасні підходи до проектування публічних просторів дедалі частіше спираються на цифрові інструменти, що дають змогу переосмислити традиційні методи взаємодії між архітекторами, користувачами й громадами. У контексті ко-дизайну цифрові моделі є не лише технічним засобом, а й центральним елементом комунікації, аналізу та прийняття рішень. Завдяки здатності забезпечувати візуалізацію, симуляцію й інтерактивність відбувається перехід від одностороннього проектування до спільного творення середовища, у якому кожен учасник має можливість впливати на формування простору [2, с. 19].

Особливої актуальності цифрові моделі набувають у сфері адаптивних публічних середовищ, де необхідно враховувати зміни клімату, динаміку людських потоків, соціальну різноманітність і багатофункціональність [6, с. 48]. Вони створюють умови для тестування різних сценаріїв використання простору, оптимізації рішень та інтеграції користувацького досвіду вже на ранніх етапах проектування. Це дає змогу не лише точніше передбачати поведінку майбутнього середовища, а й забезпечувати інклюзивність процесу, у якому громадськість відіграє активну роль.

Нижче представлено таблицю, у якій узагальнено основні принципи цифрових моделей у ко-дизайні, висвітлено їх сутність, роль у спільному проектуванні та вплив на

формування адаптивних і гнучких публічних просторів (таблиця 1).

Аналіз цифрових моделей у ко-дизайні демонструє, як різні концепції взаємодіють між собою й сприяють створенню комфортних та адаптивних середовищ. Кожна із цих концепцій має свою специфіку, але всі вони об'єднані спільною метою – покращення якості публічних просторів через активну участь усіх зацікавлених сторін.

Параметричне моделювання є одним з основних інструментів у ко-дизайні, оскільки воно дає змогу створювати змінні геометрії, що реагують на різноманітні параметри. Це забезпечує можливість швидко адаптувати дизайн, тестуючи різні варіанти відповідно до зворотного зв'язку від користувачів. Таким чином, можна формувати адаптивні конструкції, що змінюються залежно від умов навколишнього середовища, таких як освітлення або потоки людей [15, с. 2]. Це, відповідно, дає змогу генерувати різні сценарії використання публічних просторів, оптимізуючи їх функціонування.

BIM також відіграє важливу роль у ко-дизайні, оскільки забезпечує спільну платформу для взаємодії між дизайнерами, інженерами та громадою. Ця інформаційно-будівельна

модель містить дані про всі елементи об'єкта, що дає змогу здійснювати контроль за енергоефективністю й планувати ресурси [17, с. 10]. Завдяки прозорості цього процесу громадськість може бути залучена до обговорення проєктів, що підвищує їхню відповідність потребам населення.

Генеративний дизайн та алгоритмічні моделі використовують комп'ютерні алгоритми для створення оптимальних рішень за заданими критеріями. Учасники можуть спільно формулювати обмеження й цілі, отримуючи в результаті множину варіантів [16, с. 9]. Це особливо корисно для створення адаптивних форм, які враховують кліматичні та соціальні фактори. Завдяки цьому формується середовище, яке може ефективно реагувати на зміни в потребах користувачів.

Технології VR/AR дають учасникам змогу ознайомитися з проєктом ще до його реалізації, що створює умови для об'єктивної оцінки архітектурних рішень і дає громадянам можливість висловлювати свої пропозиції. Їх використання в процесах інклюзивного планування сприяє глибшому розумінню потреб мешканців і формуванню просторів, орієнтованих на користувачів [16, с. 47].

Таблиця 1

Аналіз цифрових моделей у ко-дизайні

Концепція цифрової моделі	Сутність концепції	Роль у ко-дизайні	Застосування для адаптивних середовищ	Вплив на проєктування публічних просторів
Параметричне моделювання	Створення змінних геометрій на основі параметрів і залежностей	Дає змогу учасникам швидко змінювати дизайн, тестувати варіанти	Формування адаптивних конструкцій, що змінюються залежно від умов (світло, потоки людей)	Можливість генерувати сценарії використання площ, оптимізація потоків
BIM	Інформаційно-будівельна модель із даними про всі елементи об'єкта	Забезпечує спільну платформу для взаємодії дизайнерів, інженерів, громади	Контроль енергоефективності, планування ресурсів, симуляція поведінки середовища	Прозорість для громадськості, можливість залучення мешканців до обговорення
Генеративний дизайн/алгоритмічні моделі	Комп'ютер генерує оптимальні рішення за заданими критеріями	Учасники спільно задають обмеження й цілі, отримуючи множину варіантів	Створення адаптивних форм, що реагують на кліматичні й соціальні фактори	Допомагає формувати багатофункціональні простори, урахування різних сценаріїв користувачів
VR/AR моделювання	Віртуальна й доповнена реальність для візуалізації проєктів	Дає змогу всім учасникам «прогулятися» проєктом, давати зворотний зв'язок	Тестування реакції людей на простір до його будівництва	Інклюзивне планування: громадяни можуть оцінити проєкти реалістично
Цифрові близнюки	Динамічна цифрова копія фізичного середовища з реальними даними	Залучення громади та дизайнерів до аналізу даних у реальному часі	Моніторинг мікроклімату, потоків, використання меблів і зон	Оптимізація функціонування публічного простору на основі поведінкових даних
GIS-моделі	Просторовий аналіз територій	Спільне обговорення проблем і можливостей конкретних локацій	Виявлення зон конфліктів, навантаження й потенціалу адаптації	Допомагає планувати доступність, озеленення, трафік

Джерело: створено авторами на основі [1, с. 47; 12, с. 62; 15, с. 2; 16, с. 9; 17, с. 10].

Цифрові близнюки – це динамічні цифрові репліки фізичних середовищ, які постійно оновлюються на основі реальних даних. Вони залучають громадськість і дизайнерів до аналізу інформації в реальному часі, що дає змогу контролювати мікроклімат, потоки людей і використання меблювання. Такий підхід сприяє оптимізації функціонування публічних просторів з урахуванням поведінкових особливостей користувачів [1, с. 47].

GIS виконують функцію просторового аналізу територій, що дає змогу спільно обговорювати проблеми та можливості конкретних локацій [12, с. 62]. Завдяки цьому виявляються зони потенційних конфліктів і ділянки з високим адаптаційним потенціалом, що є важливим для планування доступності, озеленення й організації трафіку в публічних просторах.

Різні концепції цифрових моделей у ко-дизайні не лише підвищують ефективність проектування, але й сприяють формуванню адаптивних і комфортних середовищ для всіх учасників процесу. Інтеграція таких моделей дає змогу враховувати соціальні, екологічні та функціональні аспекти життя

громади, що є запорукою успішного функціонування публічних просторів. Завдяки цьому проектування стає більш інклюзивним і чутливим до реальних потреб користувачів.

Кожен із принципів цифрових моделей взаємодіє один з одним, формуючи цілісну систему, яка сприяє розвитку й адаптації простору. Аналіз принципів цифрових моделей у ко-дизайні наведено в таблиці 2.

Аналіз цифрових моделей у ко-дизайні показує, що основні принципи, зокрема параметричність, інтерактивність, робота з даними, візуалізація, симуляція, співтворення та модульність, спільно формують комфортні й адаптивні середовища. Параметричність дає змогу гнучко модифікувати геометрію простору під різні сценарії, оптимізуючи функції та потоки користувачів. Інтерактивність залучає громаду й підвищує інклюзивність рішень [5, с. 32], а принцип даних забезпечує проектування на основі реальних показників. Візуалізація полегшує комунікацію між учасниками, тоді як симуляція дає можливість завчасно перевірити ефективність і безпеку рішень [22, с. 2]. Співтворення робить процес демократичним, інтегруючи потреби

Таблиця 2

Аналіз принципів цифрових моделей у ко-дизайні

Принцип цифрової моделі	Сутність принципу	Роль у ко-дизайні	Вплив на проектування адаптивних середовищ	Вплив на публічні простори
Принцип параметричності	Можливість керувати геометрією через змінні параметри	Полегшує спільну генерацію та модифікацію рішень	Дає змогу створювати конструкції, що змінюються відповідно до сценаріїв використання	Підтримує оптимізацію потоків, функцій, формування комфортних зон
Принцип інтерактивності	Модель реагує на дії користувача або зміни в даних	Залучає користувачів у процес створення й тестування	Дає змогу симулювати поведінку людей і середовища	Робить публічні простори більш інклюзивними й орієнтованими на потреби громади
Принцип даних	Використання реальних даних для прийняття рішень	Учасники можуть працювати з об'єктивними показниками	Аналіз мікроклімату, мобільності, трафіку, що сприяє адаптивності	Покращує управління простором на основі поведінкових та екологічних даних
Принцип візуалізації	Перетворення складних даних і моделей у наочні форми	Забезпечує спільне розуміння проекту	Сприяє прогнозуванню реакції людей на майбутнє середовище	Робить комунікацію з громадою прозорою, зрозумілою
Принцип симуляції	Програвання сценаріїв використання простору ще до реалізації	Дає змогу спільно оцінити наслідки рішень	Моделює поведінку конструкцій, матеріалів, потоків людей	Дає змогу перевірити безпеку, комфорт і функціональність публічних просторів
Принцип співтворення	Можливість для різних учасників вносити зміни в модель	Робить процес проектування демократичним і відкритим	Підсилює адаптивність завдяки різним поглядам	Дає змогу формувати простори, які відповідають реальним потребам користувачів
Принцип модульності	Система складається з незалежних модулів, які взаємодіють між собою	Полегшує паралельну роботу над підсистемами	Підтримує створення гнучких систем, які легко змінюються	Забезпечує можливість поетапного розвитку публічних просторів

Джерело: створено авторами на основі [4, с. 58; 5, с. 32; 22, с. 2].

користувачів, а модульність підтримує гнучкий поетапний розвиток простору [4, с. 58].

Варто зауважити, що параметричне проектування в архітектурі адаптивних публічних середовищ є важливим інструментом створення просторів, які динамічно реагують на потреби користувачів та умови навколишнього середовища. Воно дає змогу формувати гнучкі, багатофункціональні й соціально орієнтовані міські локації, забезпечуючи зміну структури та поведінки простору відповідно до різних сценаріїв використання, що суттєво підвищує функціональність та адаптивність середовища.

Аналіз сучасних архітектурних проєктів підтверджує ефективність параметричного підходу у формуванні гнучких публічних просторів. Наприклад, Galaxy SOHO в Пекіні забезпечує плавні переходи між різними зонами й високу адаптивність середовища [13]. Phoenix International Media Centre завдяки параметричному моделюванню створює трансформовані громадські простори та підтримує екологічну стійкість [20]. У Zhuhai Jinwan Civic Art Centre параметричні рішення забезпечують багатофункціональність, оптимізацію природного освітлення й сприяють соціальній взаємодії [25]. Vanke Center у Шеньчжені інтегрує публічний простір у міську структуру, формуючи екологічно стійке та соціально орієнтоване середовище [14]. Carapace Pavilion демонструє експериментальний потенціал параметричного дизайну, поєднуючи функціональність, доступність та екологічність [24].

Ко-дизайн розглядається як провідний підхід у формуванні сучасних публічних просторів, оскільки він забезпечує інтегровану взаємодію всіх зацікавлених сторін і створює умови для спільного продукування рішень. У цьому процесі діяльність архітекторів, користувачів і представників громад переплітається, формуючи спільний простір для обміну знаннями, потребами й уявленнями про розвиток середовища. Цифрові моделі при цьому виконують роль посередника, об'єднуючи різні перспективи та роблячи процес проектування більш прозорим, доступним та орієнтованим на користувачів.

Архітектори в ко-дизайні не лише створюють концепції, а й організують комунікаційний простір для взаємодії всіх учасників. Вони задають рамку проєкту, яку уточнюють відповідно до потреб користувачів, використовуючи воркшопи, зустрічі й цифрові моделі, що наочно демонструють варіанти рішень і трансформують абстрактні ідеї в конкретні обговорення.

Користувачі надають основні дані для створення адаптивних та інклюзивних просторів. Їхня участь у фокус-групах, опитуваннях та онлайн-платформах допомагає узгодити проєкт із реальними практиками й очікуваннями, роблячи ко-дизайн більш демократичним і доступним.

Громади виконують роль посередників між учасниками, формуючи ширший соціальний контекст і визначаючи пріоритети розвитку території. Цифрові інструменти підтримують прозорість комунікації, фіксацію позицій і можливість коригування рішень у процесі проектування.

Таким чином, ко-дизайн у поєднанні із цифровими моделями формує багаторівневий процес співтворення, у якому кожен учасник отримує можливість впливати на результат. Архітектори, користувачі та громади не існують як окремі елементи, а створюють єдину систему взаємодії, у якій цифрові технології допомагають інтегрувати різні погляди, забезпечити відкритість обговорення й формувати адаптивні публічні простори, що справді відповідають потребам суспільства.

ВИСНОВКИ

У процесі дослідження проаналізовано основні концепції та принципи цифрових моделей, таких як параметричне моделювання, BIM, генеративний дизайн, VR/AR, цифрові близнюки й GIS, що продемонструвало їх здатність забезпечувати інтерактивність, симуляцію, спільне продукування рішень і модульність у створенні гнучких і функціональних просторів. З'ясовано, що інтеграція цих технологій дає змогу ефективно моделювати різні сценарії використання простору, прогнозувати поведінку користувачів та адаптувати середовище до змінних умов довкілля.

Аналіз реалізованих параметричних проєктів, таких як Galaxy SOHO, Phoenix International Media Centre, Zhuhai Jinwan Civic Art Centre, Vanke Center і Carapace Pavilion, підтвердив практичну ефективність цифрових моделей у створенні адаптивних архітектурних рішень, які забезпечують високий рівень гнучкості, багатофункціональності й соціальної орієнтованості. Ці приклади демонструють, що параметричне моделювання й генеративні підходи дають змогу поєднувати естетику, екологічну стійкість і соціальну взаємодію в межах публічних просторів, а також сприяють інтеграції таких просторів у міську структуру.

Дослідження взаємодії архітекторів, користувачів і громад у процесі ко-дизайну

показало, що партисипативність є важливим чинником формування соціально значущих, контекстно відповідних і функціонально адаптивних публічних середовищ. Цифрові моделі в цьому процесі виконують роль посередника, який об'єднує різні перспективи, робить процес проектування прозорим і забезпечує активне залучення користувачів. Таким чином, поєднання цифрових технологій і принципів ко-дизайну створює підґрунтя для розвитку сучасних методик проектування, здатних ефективно відповідати на складні й динамічні потреби міського середовища, підвищувати його функціональність, гнучкість і соціальну значущість.

Перспективи подальших досліджень можуть стосуватися більш глибокої інтеграції ШІ та методів машинного навчання для оптимізації проектних процесів, розвитку цифрових платформ для активної громадської участі, удосконалення систем візуалізації та аналізу даних, а також комплексної оцінки довготривалої ефективності адаптивних середовищ у контексті підвищення якості життя мешканців і забезпечення кліматичної стійкості міських просторів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Андрухів М. Параметрична архітектура: синтез естетики, функціональності та екологічної ефективності. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2025. Т. 4, № 4. С. 43–55. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250404.04>.
- [2] Благостова О.О., Печерцев О.О. Характерні риси параметричної архітектури та особливості її моделювання. *Науковий вісник будівництва*. 2021. Т. 104, № 2. С. 14–20. DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-14-20>.
- [3] Вергунова Н., Блінова М. Тенденції використання штучного інтелекту та імерсивного дизайну у формуванні архітектурного середовища. *Комунальне господарство міст*. 2024. Т. 3, № 184. С. 59–64. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-59-64>.
- [4] Вергунова Н. Імерсивні технології в архітектурі. *Комунальне господарство міст*. 2024. Т. 6, № 187. С. 57–62. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-57-62>.
- [5] Карандюк Д., Комаров К. Метод інтеграції генеративного штучного інтелекту з середовищем параметричного проектування Grasshopper для архітектурного формоутворення. *Вісник Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури*. 2025. № 4. С. 27–37. DOI: <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2025-4-4>.
- [6] Нікітенко В., Васильчук Г. Модель цифрового міста як фактор креативного розвитку. *Humanities Studies*. 2022. № 11(88). С. 48–58. DOI: <https://doi.org/10.26661/hst-2022-11-88-05>.
- [7] Обідник М.Д., Обідник М.В. Цифровізація в будівельній галузі. Ключові тенденції розвитку технології інформаційного моделювання будівель (BIM). *Технологія блокчейн у BIM. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2025. Т. 38, № 1. С. 95–101. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2025-1-95-101>.
- [8] Пилипчук О. Дослідження арт-об'єктів в аспектах інноваційно-технологічної інтеграції в сучасний інтер'єрний простір. *Вісник КНУКІМ. Серія «Мистецтвознавство»*. 2025. № 52. С. 197–206. DOI: <https://doi.org/10.31866/2410-1176.52.2025.334145>.
- [9] Чабан Є., Криворучко Н. Методика інтеграції цифрових технологій у дизайн інтер'єру сучасних міських просторів. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2025. № 6. С. 197–207. DOI: <https://doi.org/10.32782/uad.2024.6.22>.
- [10] Чепелик О. Імерсивні середовища, VR, AR в сучасному українському мистецтві останніх років. *Сучасне мистецтво*. 2021. № 17. С. 23–40. DOI: <https://doi.org/10.31500/2309-8813.17.2021.248423>.
- [11] Anscorn C. Hybridized, influenced, or evolved? A typology to aid the categorization of new and developing arts. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*. 2023. Vol. 81, № 3. P. 317–329. DOI: <https://doi.org/10.1093/jaac/kpad028>.
- [12] Deng M., Menassa C.C., Kamat V.R. From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. *Journal of Information Technology in Construction*. 2021. Vol. 26. P. 58–83. DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.005>.
- [13] Galaxy SOHO. *Holamon.cat: вебсайт*. URL: <https://www.holamon.cat/ru/galaxy-soho#nanogallery/nanogallery2/0/1> (дата звернення: 09.12.2025).
- [14] Horizontal Skyscraper – Vanke Center. *Steven Holl Architects: вебсайт*. URL: <https://share.google/T4h9mtAhuatXkcFLw> (дата звернення: 09.12.2025).
- [15] Liu W., Lv Y., Wang Q., Sun B., Han D. A systematic review of the digital twin technology in buildings, landscape and urban environment from 2018 to 2024. *Buildings*. 2024. Vol. 14, № 11. Article number 3475. P. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113475>.
- [16] Luo J., Liu P., Kong X., Shen J., Wu Q., Xu D. Urban digital twins for citizen-centric planning: A systematic review of built environment perception and public participation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2025. Vol. 143. Article number 104746. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104746>.
- [17] Mazzetto S. A review of urban digital twins integration, challenges, and future directions in smart city development. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, № 19. Article number 8337. P. 1–33. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16198337>.
- [18] Ng P., Zhu S., Li Y., van Ameijde J. Intergenerational cooperation and co-creation in public space design assisted by virtual reality (VR) environments. *Architectural Intelligence*. 2025. Vol. 4. Article

number 1. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44223-024-00080-1>.

[19] Palero J.S. Metodologías participativas en arquitectura: las propuestas pioneras de Turner, Habraken y Alexander. *Revista de Arquitectura*. 2024. Vol. 26, № 2. P. 255–274. DOI: <https://doi.org/10.14718/revarq.2024.26.4381>.

[20] Phoenix International Media Center. KONE : вебсайт. URL: <https://www.kone.ua/ua/stories-and-references/references/phoenix-international-media-center.aspx> (дата звернення: 09.12.2025).

[21] Sanoff H. Participatory design. *Journal of Design, Planning and Aesthetics Research*. 2022. Vol. 1, № 2. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.55755/deparch.2022.8>.

[22] Stefanos-Iordanis P., Christos K., Symeon P., Ioannis K. VICTOR: Visual incompatibility detection with transformers and fashion-specific contrastive pre-training. *arXiv*. 2022. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.13458>.

[23] Tarabon S., Calvet C., Delbar V., Dutoit T., Isselin-Nondedeu F. Integrating a landscape connectivity approach into mitigation hierarchy planning by anticipating urban dynamics. *Landscape and Urban Planning*. 2020. Vol. 202. Article number 103871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103871>.

[24] The Carapace Pavilion. *Facade Tectonics*: вебсайт. URL: <https://share.google/EDfS4vKqP1OykHTni> (дата звернення: 09.12.2025).

[25] Zuhai Jinwan Civic Art Centre. *Zaha Hadid Architects*: вебсайт. URL: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/zuhai-jinwan-civic-art-centre/> (дата звернення: 09.12.2025).

REFERENCES

[1] Andrukhiv, M. (2025). Parametrychna arkhitektura: syntezy estetyky, funktsionalnosti ta ekolohichnoi efektyvnosti [Parametric architecture: a synthesis of aesthetics, functionality and environmental efficiency]. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 4(4), 43–55. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250404.04> [in Ukrainian].

[2] Blahovestova, O.O., & Pechertsev, O.O. (2021). Kharakterni rysy parametrychnoi arkhitektury ta osoblyvosti yii modeliuвання [Characteristics of parametric architecture and features of its modeling]. *Naukovyi visnyk budivnytstva – Scientific Bulletin of Construction*, 104(2), 14–20. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-14-20> [in Ukrainian].

[3] Verhunova, N., & Blinova, M. (2024). Tendentsii vykorystannia shtuchnoho intelektu ta imersyvnoho dyzainu u formuvanni arkhitekturnoho seredovyshcha [Trends in the use of artificial intelligence and immersive design in shaping the architectural environment]. *Komunalne hospodarstvo mist – Municipal services in cities*, 3(184), 59–64. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-59-64> [in Ukrainian].

[4] Verhunova, N. (2024). Imersyvni tekhnolohii v arkhitekturi. *Komunalne hospodarstvo mist – Municipal services in cities*, 6(187), 57–62. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-57-62> [in Ukrainian].

[5] Karandiuk, D., & Komarov, K. (2025). Metod intehratsii heneratyvnoho shtuchnoho intelektu z seredovyshchem parametrychnoho proiektuvannia Grasshopper dlia arkhitekturnoho formotvorennia [Method of integration of generative artificial intelligence with the Grasshopper parametric design environment for architectural forming]. *Visnyk Natsionalnoi akademii obrazotvorchoho mystetstva i arkhitektury – Bulletin of the National Academy of Fine Arts and Architecture*, 4, 27–37. <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2025-4-4> [in Ukrainian].

[6] Nikitenko, V., & Vasylychuk, H. (2022). Model tsyvrovoho mista yak faktor kreatyvnoho rozvytku [Digital city model as a factor of creative development]. *Humanities Studies*, 11(88), 48–58. <https://doi.org/10.26661/hst-2022-11-88-05> [in Ukrainian].

[7] Obidnyk, M.D., & Obidnyk, M.V. (2025). Tsyvrovizatsiia v budivelnii haluzi. Kliuchovi tendentsii rozvytku tekhnolohii informatsiinoho modeliuвання budivel (BIM). Tekhnolohiia blokchein u BIM [Digitalization in the construction industry. Key trends in the development of building information modeling (BIM) technology. Blockchain technology in BIM]. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi. – Modern technologies, materials, and designs in construction.*, 38(1), 95–101. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2025-1-95-101> [in Ukrainian].

[8] Pylypchuk, O. (2025). Doslidzhennia art-objektiv v aspektakh innovatsiino-tekhnolohichnoi intehratsii v suchasnyi interiernyi prostir [Research of art objects in aspects of innovative and technological integration into modern interior space]. *Visnyk KNUKIM. Serii «Mystetstvoznavstvo» – Bulletin of KNUKIM. Series «Art Studies»*, 52, 197–206. <https://doi.org/10.31866/2410-1176.52.2025.334145> [in Ukrainian].

[9] Chaban, Ye., & Kryvoruchko, N. (2025). Metodyka intehratsii tsyvrovykh tekhnolohii u dyzain interieru suchasnykh miskykh prostoriv [Methodology for integrating digital technologies into the interior design of modern urban spaces]. *Ukrainskyi mystetstvoznavchyi dyskurs – Ukrainian Art Discourse*, 6, 197–207. <https://doi.org/10.32782/uad.2024.6.22> [in Ukrainian].

[10] Chepelyk, O. (2021). Imersyvni seredovyshcha, VR, AR v suchasnomu ukrainskomu mystetstvi ostannikh rokiv [Immersive environments, VR, AR in contemporary Ukrainian art in recent years]. *Suchasne mystetstvo – Contemporary art*, 17, 23–40. <https://doi.org/10.31500/2309-8813.17.2021.248423> [in Ukrainian].

[11] Anscorb, C. (2023). Hybridized, influenced, or evolved? A typology to aid the categorization of new and developing arts. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 81(3), 317–329. <https://doi.org/10.1093/jaac/kpad028> [in English].

[12] Deng, M., Menassa, C.C., & Kamat, V.R. (2021). From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 58–83. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.005> [in English].

[13] Galaxy SOHO. (n.d.). *Holamon.cat: website*. Retrieved from: <https://www.holamon.cat/ru/galaxy-soho#nanogallery/nanogallery2/0/1> [in English].

[14] Horizontal Skyscraper – Vanke Center. (n.d.). *Steven Holl Architects: website*. Retrieved from: <https://share.google/T4h9mtAhuatXkcFLw> [in English].

[15] Liu, W., Lv, Y., Wang, Q., Sun, B., & Han, D. (2024). A systematic review of the digital twin technology in buildings, landscape and urban environment from 2018 to 2024. *Buildings*, 14(11), 3475, 1–26. <https://doi.org/10.3390/buildings14113475> [in English].

[16] Luo, J., Liu, P., Kong, X., Shen, J., Wu, Q., & Xu, D. (2025). Urban digital twins for citizen-centric planning: A systematic review of built environment perception and public participation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 143, 104746, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104746> [in English].

[17] Mazzetto, S. (2024). A review of urban digital twins integration, challenges, and future directions in smart city development. *Sustainability*, 16(19), 8337, 1–33. <https://doi.org/10.3390/su16198337> [in English].

[18] Ng, P., Zhu, S., Li, Y., & van Ameijde, J. (2025). Intergenerational cooperation and co-creation in public space design assisted by Virtual Reality (VR) environments. *Architectural Intelligence*, 4, 1, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s44223-024-00080-1> [in English].

[19] Palero, J.S. (2024). Metodologías participativas en arquitectura: las propuestas pioneras de Turner, Habraken y Alexander. *Revista de*

Arquitectura, 26(2), 255–274. <https://doi.org/10.14718/revarq.2024.26.4381> [in English].

[20] Phoenix International Media Center. (n.d.). *KONE: website*. Retrieved from <https://www.kone.ua/ua/stories-and-references/references/phoenix-international-media-center.aspx> [in English].

[21] Sanoff, H. (2022). Participatory Design. *Journal of Design, Planning and Aesthetics Research*, 1(2), 1–12. <https://doi.org/10.55755/deparch.2022.8> [in English].

[22] Stefanos-Iordanis, P., Christos, K., Symeon, P., & Ioannis, K. (2022). Victor: Visual incompatibility detection with transformers and fashion-specific contrastive pre-training. *arXiv*, 1–14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.13458> [in English].

[23] Tarabon, S., Calvet, C., Delbar, V., Dutoit, T., & Isselin-Nondedeu, F. (2020). Integrating a landscape connectivity approach into mitigation hierarchy planning by anticipating urban dynamics. *Landscape and Urban Planning*, 202, 103871. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103871> [in English].

[24] The Carapace Pavilion. (n.d.). *Facade Tectonics: website*. Retrieved from: <https://share.google/EDfS4vKqpIOykHTni> [in English].

[25] Zhuhai Jinwan Civic Art Centre. (n.d.). *Zaha Hadid Architects: website*. Retrieved from: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/zhuhai-jinwan-civic-art-centre/> [in English].

ABSTRACT

Pashchenko H., Barbash M., Korchevskiy B. Digital co-design models in the architecture of adaptive public environments

Modern architecture of adaptive public environments faces a number of challenges associated with dynamic social and environmental changes. In this context, digital co-design models are of particular importance, as they allow integrating the latest technologies into the design process and creating flexible, functional spaces that can meet the needs of users.

Purpose. *The purpose of the article is to study the impact of digital co-design models on the architecture of adaptive public environments, in particular in the context of parametric design, as well as to determine their potential for forming spaces that adapt to changing conditions.*

Methodology. *The research methodology combines theoretical methods (analysis, synthesis, abstraction, induction and deduction) and empirical approaches (observation).*

Results. *The research process analyzed the main concepts and principles of digital models in the context of co-design, in particular their role in the design of adaptive public environments. It was found that tools such as parametric modeling, BIM (Building Information Modeling), generative design, VR/AR modeling, digital twins and geographic information systems (GIS) open up new opportunities for effective and flexible design. The main principles of their use – interactivity, data work, visualization, simulation, co-creation and modularity – contribute to the formation of adaptive architectural solutions. The study also includes an analysis of practical examples of the application of parametric design in adaptive public environments, in particular Galaxy SOHO in Beijing, Phoenix International Media*

Centre, Zhuhai Jinwan Civic Art Centre, Vanke Center in Shenzhen and Carapace Pavilion in Joshua Tree National Park. These cases demonstrate the effectiveness of the parametric approach in increasing the functionality and flexibility of architectural spaces. Particular attention is paid to the interaction of different participants in the design process – architects, users and communities – within the framework of co-design of adaptive public environments. The study showed that the active participation of all stakeholders contributes to the creation of spaces that are more sensitive to the needs of users.

The scientific novelty of the article lies in the systematization of knowledge about digital models of co-design and their impact on the process of designing adaptive public environments.

The practical relevance of the work is manifested in the possibility of applying the obtained results to increase the efficiency of designing modern public spaces that meet the requirements of society.

Keywords: co-design, adaptive environments, parametric design, digital models, architecture, BIM, generative design, interactivity, functionality, flexibility.

AUTHOR'S NOTE:

Pashchenko Hanna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Environmental Design, Mykhailo Boichuk Kyiv State Academy of Decorative Applied Arts and Design, Kyiv, Ukraine, e-mail: anne_2010@ukr.net, orcid: 0000-0003-1455-5245.

Barbash Marina, Senior Lecturer at the Department of Architecture and Design, Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv, Ukraine, e-mail: m_barbash@ukr.net, orcid: 0000-0003-2784-5030.

Korchevskiy Bohdan, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Strength of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: b.b.korchevskiy@gmail.com, orcid: 0009-0004-3922-7701.

Дата першого надходження статті до видання: 17.12.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 16.01.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 24.04.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

