

## ЦИФРОВА ІНТЕГРАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ КОЛЕКЦІЙНОГО ДИЗАЙНУ В ІНТЕР'ЄРНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

**Сергій Вергунов,**  
<https://orcid.org/0000-0003-2603-9782>,  
кандидат мистецтвознавства,  
професор,  
Харківський національний  
університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова,  
Харків, Україна  
[s.vergunov@gmail.com](mailto:s.vergunov@gmail.com)

**Наталія Вергунова,**  
<https://orcid.org/0000-0002-8470-7956>,  
кандидат мистецтвознавства, доцент,  
Харківський національний університет  
міського господарства  
імені О. М. Бекетова,  
Харків, Україна  
[n.vergunova@gmail.com](mailto:n.vergunova@gmail.com)

**Олександр Левадний,**  
<https://orcid.org/0000-0002-5469-1842>,  
народний художник України,  
професор кафедри «Дизайну та  
3D-моделювання»,  
Харківський національний університет  
міського господарства  
імені О. М. Бекетова,  
Харків, Україна  
[levadniyart@gmail.com](mailto:levadniyart@gmail.com)

## DIGITAL INTEGRATION OF COLLECTIBLE DESIGN OBJECTS INTO INTERIOR ENVIRONMENT

**Serhii Verhunov,**  
<https://orcid.org/0000-0003-2603-9782>,  
PhD in Art Studies,  
Professor,  
O. M. Beketov  
National University  
of Urban Economy in Kharkiv,  
Kharkiv, Ukraine  
[s.vergunov@gmail.com](mailto:s.vergunov@gmail.com)

**Nataliia Verhunova,**  
<https://orcid.org/0000-0002-8470-7956>,  
PhD in Art Studies, Associate Professor,  
O. M. Beketov  
National University  
of Urban Economy in Kharkiv,  
Kharkiv, Ukraine  
[n.vergunova@gmail.com](mailto:n.vergunova@gmail.com)

**Oleksandr Levadnyi,**  
<https://orcid.org/0000-0002-5469-1842>,  
People's Painter of Ukraine,  
Professor of the department  
of Design and 3D-Modeling,  
O. M. Beketov  
National University  
of Urban Economy in Kharkiv,  
Kharkiv, Ukraine  
[levadniyart@gmail.com](mailto:levadniyart@gmail.com)

### Анотація

**Мета дослідження.** Визначити, як цифрові технології тривимірного моделювання, прототипування та візуалізації забезпечують перехід від колекційного дизайн-об'єкта до його інтеграції в інтер'єрне середовище, і які чинники стримують ефективність цього процесу в професійній практиці. **Методи дослідження.** Застосовано інтердисциплінарний підхід на перетині дизайн-досліджень,

### Abstract

**The purpose of this article** is to determine how digital technologies for three-dimensional modelling, prototyping and visualisation enable the transition from a collectible design object to its integration into an interior environment, and what factors constrain the efficiency of this process in professional practice. **Research methodology.** An interdisciplinary approach at the intersection of design

цифрової фабрикації та візуалізації. Використано структурно-функціональний і порівняльний аналіз, контент-аналіз публікацій, тематичну систематизацію та кейс-аналіз прикладів інтеграції «колекційний об'єкт – інтер'єрне середовище». **Наукова новизна.** У статті виконано інтегративний огляд технологій тривимірного моделювання, прототипування та візуалізації, що забезпечують перехід від колекційного дизайн-об'єкта до його контекстного розміщення в інтер'єрі. Новизна полягає в поєднанні колекційного й інтер'єрного дизайну в єдиному аналітичному контурі та виокремленні наскрізного цифрового циклу «модель–прототип–візуалізація» як практично значущої конфігурації. Запропоновано порівняльну характеристику технологій за точністю, швидкістю ітерацій, комунікацією та ресурсним впливом. Уточнено різницю між технологіями, що змінюють підхід до проектування, і тими, що лише покращують наявні процедури, а також визначено ключові бар'єри, а саме міжплатформну сумісність і розрив між цифровою та фізичною реалізацією. **Висновки.** Узагальнено цифрові технології інтеграції колекційного дизайн-об'єкта в інтер'єр та показано зближення моделювання, прототипування й візуалізації в наскрізний процес. Параметричне та генеративне тривимірне моделювання підсилює варіативність рішень, перетворення даних сканування в інформаційну модель уточнює прив'язку до фактичних умов, а тривимірний друк і обробка на верстатах із числовим програмним керуванням забезпечують перевірку ергономіки та функціональності. Фотореалістичний рендеринг, рушії візуалізації в реальному часі та технології розширеної реальності покращують взаєморозуміння між учасниками проекту й дають змогу раніше узгоджувати рішення, зменшуючи потребу в корекціях на завершальних етапах. Технології зіставлено за рівнем точності, темпом ітерацій, комунікаційною ефективністю та ресурсними витратами. Виявлено основні чинники, що стримують упровадження, а саме недостатню сумісність між платформами, невідповідність між цифровим поданням і фізичною реалізацією та потребу у фахових компетентностях команди.

research, digital fabrication and visualisation are applied. This study uses structural–functional and comparative analysis, publication content analysis, thematic synthesis, and case analysis of “collectible object–interior environment” integration examples. **Scientific novelty.** The paper provides an integrative review of three-dimensional modelling, prototyping and visualisation technologies that support the transition from a collectible design object to its contextual placement in an interior. The novelty of the study lies in combining collectible and interior design within a single analytical framework and identifying the end-to-end digital cycle “model–prototype–visualisation” as a practically meaningful configuration. A comparative characterisation of technologies is offered across accuracy, iteration speed, communication and resource influence. The study clarifies the difference between technologies that substantially change the design approach and those that primarily refine existing procedures, as well as identifies key barriers, namely cross-platform compatibility and a gap between digital representation and physical realisation. **Conclusions.** Digital technologies for integrating collectible design objects into interiors are synthesised, showing the convergence of modeling, prototyping and visualisation into an end-to-end process. Parametric and generative three-dimensional modelling increases solution variability; converting scan data into an information model improves alignment with actual conditions; three-dimensional printing and numerically controlled machining support ergonomic and functional verification. Photorealistic rendering, real-time visualisation engines and extended reality technologies improve mutual understanding among project participants and enable earlier decision alignment, reducing late-stage revisions. Technologies are compared by accuracy level, iteration pace, communication effectiveness and resource demands. Key constraints are insufficient platform compatibility, mismatches between digital representation and physical realisation, as well as a necessity in specialised team competencies.

**Ключові слова:** **Keywords:**

колекційний дизайн, дизайн інтер'єру, тривимірне моделювання, цифрова фабрикація, прототипування, імерсивна візуалізація, міжплатформна сумісність.

collectible design, interior design, 3D-modelling, digital fabrication, prototyping, immersive visualisation, cross-platform compatibility.

**Вступ** **1**

В професійній спільноті дизайнерів колекційні об'єкти, унікальні або лімітовані предмети меблів і декору, дедалі частіше розглядаються не лише як самостійні арт-об'єкти, а й як інтегральні елементи інтер'єрного середовища. Перехід у проектуванні від маломасштабного колекційного предмета до цілісного інтер'єрного простору потребує системної концептуальної логіки та виваженого масштабування. Історично це було складним завданням, оскільки 2D-репрезентації спроектованих предметів часто залишали простір для неоднозначного трактування масштабу й контексту, а фізичні макети / прототипи та узгодження між різними системами подання вимагали значних ресурсів і часу. Сьогодні цифрові технології формують нову конфігурацію проектування: тривимірне моделювання дає змогу опрацьовувати складну геометрію на рівні об'єкта, швидке прототипування переводить цифрові рішення у матеріальні зразки, а високоточна візуалізація дозволяє перевіряти вигляд, масштаб і сприйняття виробу в конкретному інтер'єрі ще до виготовлення. Ці технології докорінно змінюють дизайн-процеси.

Крім неоднозначності розуміння майбутнього об'єкту дизайну, традиційні методи проектування (ручне креслення, фізичні ескізи макети та 2D-візуалізації), ускладнювали прогнозування того, як індивідуально створений предмет інтегрується у більший простір. Натомість сучасні інструменти формують єдиний ланцюг від концепції до реалізації: дизайнер може змоделювати складну колекційну форму у програмному середовищі, виготовити прототип для оцінювання та візуалізувати виріб у віртуальному інтер'єрі, із поетапним удосконаленням на кожному етапі. Такий наскрізний процес від об'єкта до інтер'єру є особливо актуальним у контексті запиту клієнтів на персоналізовані, досвідні простори, що відображають унікальну ідентичність, характерну відповідному колекційному предмету.

Узгоджене застосування новітніх технологій породжує нові виклики, зокрема забезпечення сумісності між різними програмними середовищами та збереження відповідності між цифровою моделлю і фізичним виробом. Отже, актуальним стає комплексний огляд того, як ці інструменти, окремо й у сукупності, сприяють інноваціям у дизайні, а також які обмежувальні чинники стримують повну реалізацію їх потенціалу на практиці.

## Мета дослідження **2**

Мета дослідження полягає у системному аналізі цифрових технологій, що забезпечують перехід у проектному процесі від колекційного дизайн-об'єкта поза контекстом використання до його інтеграції в інтер'єрне середовище, з визначенням внеску 3D-моделювання, прототипування та візуалізації у формуванні наскрізного процесу проектування, а також з виявленням чинників, що обмежують ефективність цього процесу в практиці.

## Методологія та аналіз джерельної бази **3**

Методологічну основу становили структурно-функціональний і порівняльний аналіз технологічного ланцюга «моделювання – прототипування – візуалізація», що дозволило розглядати цифрові інструменти як взаємопов'язані підсистеми проектного процесу (Blessing & Chakrabarti, 2009; Cross, 2006). Щоб забезпечити можливість відтворення результатів аналізу, було визначено критерії оцінювання, точність, швидкість ітерацій, комунікація, сталість і ресурсний вплив, та проведено контент-аналіз публікацій. За методикою кодування Krippendorff (2019) виокремлено ознаки, що безпосередньо описують роботу технологій, а саме метрики точності (допуски виготовлення, похибка позиціонування / масштабу, відтворюваність), параметри ітеративності (тривалість циклу «зміна–перевірка», кількість варіантів/прототипів, потреба в післяобробці), показники комунікації (залученість стейкхолдерів, формат перегляду, можливість порівняння альтернатив у реальному часі), сталість і ресурсні характеристики (відходи матеріалу, енерговитрати, потреба в транспортуванні зразків). Окремо визначено інтеграційні обмеження, а саме формати обміну, втрати геометрії/матеріалів, вимоги до оптимізації моделей, потреба спеціалізованих навичок. Далі за підходом Braun і Clarke (2006) ці ознаки узгоджено в тематичні категорії, що відповідають логіці ланцюга: моделювання (параметричність / генеративність, керованість геометрії), прототипування / фабрикація (відтворюваність, конструктивна придатність, фініш), візуалізація/XR (ступінь реалізму, масштаб, тип взаємодії), інтеграція та міжсистемна сумісність (перенесення даних між платформами), оцінювання та прийняття рішень (якість зворотного зв'язку, зменшення пізніх змін) і сталість (матеріальна ефективність, потенціал скорочення переробок).

Емпіричну базу склали описані у наукових публікаціях проекти: малосерійний 3D-друк меблів (Yang & Du, 2022), випробування з'єднувача каркаса крісла (Nicolau et al., 2025), інтеграція BIM із рушіями реального часу (Lee et al., 2023), VR / AR-перегляд із залученням замовників (Rehman et al., 2025).

Останні роки характеризуються активним зростанням у різних дисциплінах досліджень цифрових дизайнерських технологій. 3D-моделювання еволюціонувало від базового комп'ютерного проектування (Computer-aided design, CAD) до складних

параметричних і генеративних систем, здатних створювати комплексні геометрії з мінімальним ручним втручанням (Khan et al., 2025; Li et al., 2025). Технології прототипування також суттєво просунулися: 3D-друк перейшов від експериментального застосування до малосерійного виробництва компонентів меблів (Khaki et al., 2021; Ma et al., 2021; Yang & Du, 2022), а методи цифрової фабрикації, наприклад, фрезерування на верстаках із числовим програмним керуванням (Computer Numerical Control, CNC) забезпечують точне, повторюване виготовлення кастомних рішень (Fossdal et al., 2022). Інструменти візуалізації так само зазнали розвитку, від статичних рендерів до імерсивних середовищ віртуальної реальності (VR) та застосунків доповненої реальності (AR), що підсилюють залученість дизайнера інтер'єру, автора колекційного об'єкта, замовника та/або кінцевих користувачів, виконавців у процесі спільного перегляду рішень, порівняння альтернатив, узгодження матеріалів і фінішів, перевірки масштабу та розміщення об'єкта в конкретному просторі ще до виготовлення (Lee et al., 2023). Кожен із цих напрямів є значущим сам по собі, однак їх конвергенція в дизайн-процесі, можливість змодельювати об'єкт, виготовити його та віртуально візуалізувати, означає трансформаційний зсув. У цій статті розглянуто сучасний стан зазначених технологій з метою окреслення повного наскрізного процесу проектування від колекційного об'єкта до інтер'єрного середовища, визначення технологій, які є рушіями інновацій порівняно з тими, що забезпечують лише поступові вдосконалення, а також аналіз ефективності інтеграції цих етапів у дизайнерській практиці.

## Результати дослідження **4**

Логіка подання результатів вибудована як послідовне простеження цифрового переходу від колекційного дизайн-об'єкта до його включення в інтер'єрне середовище. Спочатку систематизовано ключові технології та інструменти трьох етапів, моделювання, прототипування та візуалізації, з акцентом на їх роль у зв'язці «об'єкт–простір» і на тому, як дані проходять між етапами без втрати точності та змісту. Далі застосовано порівняльну характеристику технологій за відповідними критеріями. Завершальний блок результатів зосереджено на аналізі бар'єрів інтеграції, а також на розмежуванні технологій, що суттєво змінюють підхід до проектування, і рішень, що переважно поетапно покращують наявні робочі процеси.

Сучасний дизайн-процес розробки колекційного об'єкту передбачає певну етапність: моделювання – прототипування – візуалізація. На етапі моделювання дизайнери дедалі більше спираються на системи автоматизованого проектування (CAD), що перетворилися на параметричні, алгоритмічно керовані середовища. Перші масово поширені інструменти, AutoCAD і SketchUp,

вже дозволяли створювати точні двовимірні 2D-креслення та прості 3D-моделі, однак вимагали значних ручних зусиль. Надалі розвиток параметричного моделювання змінив логіку роботи, коли дизайнер задає зв'язки та обмеження, а геометрія об'єкта автоматично оновлюється при зміні вхідних параметрів (Khan et al., 2025). Саме тому інструменти типу Rhinoceros 3D у поєднанні з Grasshopper, а також Autodesk Dynamo і Fusion 360 дають змогу швидко генерувати численні варіанти однієї форми та оптимізувати рішення за відповідними критеріями.

Паралельно розвивається генеративний дизайн, що використовує обмеження та правила для автоматичного формоутворення, а інколи залучає штучний інтелект (ШІ). Огляди показують, що підходи на основі генеративно-змагальних мереж (Generative Adversarial Networks, GAN) та дифузійних моделей здатні продукувати нові форми й навіть планувальні рішення, хоча їх упровадження в практику поки що перебуває на ранній стадії. Деякі дослідники підкреслюють, що без цілісної інтеграції робочих процесів такі інструменти ризикують зводитися до автоматизації рутинних завдань (Khan et al., 2025).

Разом із цим дизайнери активно застосовують полігональні інструменти, 3ds Max, Blender, Maya, щоб створювати вільноформні сітки для складних колекційних об'єктів. Проте такі полігональні моделі поступаються CAD-побудовам у точності масштабу та параметричній керованості, тому концепти часто будують за допомогою підходу нерівномірних раціональних B-сплайнів (Non-uniform rational B-splines, NURBS) або у вигляді суцільної моделі, а потім конвертують у сітку для деталізації чи візуалізації. На цьому етапі сумісність між програмними середовищами лишається проблемною, оскільки перетворення між CAD і Mesh може сприяти виникненню помилок в геометрії форми, а загально зчитувані формати OBJ, STL та FBX, необхідні для перенесення даних між програмами, мають власні обмеження (Rehman et al., 2025).

Додатково інструментарій моделювання підсилює 3D-сканування, лазерне LiDAR (Light detection and ranging) та фотограмметрію, що підтримує підхід «scan-to-model» для створення цифрових двійників і фіксації простору в стані «as-built» (як збудовано). Інтеграція таких даних із CAD-середовищами поступово поліпшується через scan-to-BIM, тобто перетворення сканів через технологію інформаційного моделювання будівель (Building information modeling, BIM) (Zurpano, 2025). У підсумку етап 3D-моделювання нині здійснює трансформаційний вплив, адже цифрова модель безпосередньо переходить у прототипування та візуалізацію. Разом із тим, складність інструментів, проблеми сумісності між системами та потреба в нових навичках залишаються основними викликами (Khan et al., 2025).

Наступним етапом проектування колекційного об'єкту можна визначити прототипування, у тому числі адитивне виробництво, або 3D-друк, що формує об'єкти пошарово і за останні роки стало одним із активних способів виготовлення меблевих компонентів і навіть цілісних виробів. Дослідники описують зсув від одиничних експериментів до малосерійних запусків (Yang & Du, 2022), що вказує на зростання застосування 3D-друку для кінцевих продуктів. Дизайнери отримують ключові переваги, такі як можливість створювати складні органічні геометрії та забезпечувати масову індивідуалізацію без переналагодження виробництва (Jarža et al., 2023; Yang & Du, 2022). Додатково 3D-друк підтримує виготовлення on-demand (на вимогу), локалізоване виробництво та менші матеріальні втрати порівняно із субтрактивними методами, у яких форму отримують шляхом видалення матеріалу, наприклад, фрезерування, різання, що зазвичай утворює обрізки та стружку як відходи (Yang & Du, 2022).

Водночас практика висвітлює й обмеження: робочий об'єм 3D-принтерів може лімітувати габарити деталей, великі об'єкти друкуються довго, поверхні часто потребують післяобробки для інтер'єрного фінішу, а пошарова структура може спричинити анізотропію в несівних елементах. Попри це, експериментальні дані демонструють функціональний потенціал, коли 3D-друкований пластиковий з'єднувач каркаса крісла є зіставним за характеристиками з традиційним шипово-пазовим з'єднанням і витримує стандартні випробування на навантаження (Suvanjumrat et al., 2024; Yang & Du, 2022). Це підкреслює, що адитивне виробництво може давати не лише естетичні прототиби, а й працездатні конструктивні компоненти.

Паралельно не втрачає значення субтрактивна цифрова фабрикація. CNC фрезерування працює за траєкторіями, отриманими з CAD, забезпечуючи високу точність і повторюваність, а лазерне різання дозволяє створювати складні візерунки та взаємозчеплювані листові збірки. Деталі нерідко можна отримати за лічені години, хоча складні 3D-форми важко відтворювати без багатоосьових систем, тому на практиці часто поєднують CNC-панелі з 3D-друкованими з'єднувачами. Окремим напрямом є гібридні ливарні та формувальні процеси, коли форми виготовляють цифровими методами (3D-друком або CNC), а потім відливають матеріали, що не друкуються напряму (скло, кераміка, окремі метали), задаючи геометрію цифровим інструментарієм і переносючи її у фінальний матеріал через лиття. У підсумку етап прототипування забезпечує перевірку функціональних, ергономічних та естетичних характеристик через повторюваний процес: результати тестування фізичного зразка стають підставою для коригування цифрової моделі.

Фінальним етапом дизайну колекційного об'єкту є фотореалістичний рендеринг, що дозволяє продемонструвати відповідні дизайнерські об'єкти до виробництва в обраному інтер'єрному середовищі, використовуючи програми та плагіни (KeyShot, V-Ray, Corona, Blender Cycles та інші). Завдяки фізично коректним моделям освітлення та трасуванню променів у реальному часі зображення дедалі частіше наближаються до фотографічної якості, тож проєктант може представити колекційний об'єкт дизайну, наприклад, крісло у сцені вітальні й перевірити, як працюють текстури елементів моделі. Це помітно полегшує комунікацію із замовниками, яким складно інтерпретувати технічні креслення, а інтеграція рендерингу в програми 3D-моделювання прискорює отримання візуального зворотного зв'язку.

Водночас суттєвим зсувом стало використання ігрових рушіїв реального часу, Unity3D та Unreal Engine, для інтерактивних прогулянок і віртуальних шоурумів, де об'єкти можна обертати, конфігурувати та переглядати в масштабі 1:1, часто у віртуальній реальності (Virtual reality, VR). Це також відзначено і в теоретичних працях: інтеграція даних BIM з ігровими рушіями може підсилювати дизайн-процеси та взаємодію дизайнерів інтер'єру, архітекторів, інженерів суміжних спеціальностей, замовників і підрядників, завдяки кращій візуалізації й симуляції (Rehman et al., 2025). На практиці це виглядає як перенесення моделі приміщення, зокрема BIM-моделі, та моделей об'єктів у рушій, налаштування матеріалів і освітлення та порівняння альтернатив у різних ракурсах і світлових умовах. Дослідження пов'язують ці можливості зі швидшим ухваленням рішень і вищою впевненістю та задоволеністю замовників (Rehman et al., 2025; Tetiranont et al., 2024), а інколи з підвищенням рівня прийняття дизайн-пропозицій (Kado & Hirasawa, 2018; Rehman et al., 2025). Такий підхід ґрунтується у бар'єри міжсистемної сумісності: складні CAD- і BIM-моделі можуть бути надто ресурсоємними для рендерингу в реальному часі та потребують оптимізації, а узгодженість між первинною проєктною моделлю та її візуалізаційною версією складно підтримувати без live-link-інструментів, що автоматично синхронізують зміни між моделлю та середовищем візуалізації майже в реальному часі.

Передовий сегмент цифрових технологій на етапі фотореалістичного рендерингу також формується інструментами розширеної реальності (Extended reality, XR), віртуальна реальність та доповнена реальність (Augmented reality, AR). VR через наголовний дисплей (Head-mounted display, HMD) занурює користувача в повномасштабний цифровий інтер'єр, тоді як AR накладає цифрові об'єкти на реальний простір через смартфони або AR-окуляри, підтримуючи оцінювання у реальному контексті простору, обидві технології посилюють залученість завдя-

ки інтуїтивним і реалістичним переживанням (Lee et al., 2023). Емпіричні дослідження дизайн-рев'ю за участю кінцевих користувачів показують, що доповнена реальність є ефективним інструментом раннього оцінювання проєктних рішень у реальному контексті простору (Lee et al., 2020). Дослідження показують, що імерсивні медіа покращують розуміння, статичні креслення часто не передають задум віддаленим замовникам, натомість імерсивні формати краще підтримують порівняння альтернатив (Lee et al., 2023; Shinde et al., 2023). Залучення через VR/AR може підвищувати задоволеність і зменшувати пізні зміни завдяки ранньому зворотному зв'язку, а VR-рев'ю кінцевих користувачів пов'язують із поліпшенням результатів через виявлення проблем ще до виробництва (Helle et al., 2025; Lee et al., 2023). У підсумку візуалізація, особливо VR/AR, стає трансформаційним «містком» між задумом і сприйняттям, підвищує якість результатів і впевненість замовників (Lee et al., 2023) та найкраще розкривається у зв'язці з моделюванням і прототипуванням, забезпечуючи багаторівневий зворотний зв'язок до виробництва.

Зв'язок дизайну колекційного об'єкта та дизайну інтер'єру наочно демонструє, як предмет із виразним смисловим і естетичним потенціалом перетворюється на ядро просторової ідентичності. У цьому переході швидко проявляються проблеми масштабу, міжсистемної сумісності даних і командної узгодженості, тому він є індикатором ефективності для оцінювання інтегрованих цифрових робочих процесів у дизайні (Rehman et al., 2025). Колекційний предмет у таких проєктах зазвичай виконує роль акценту, навколо якого вибудовуються матеріальні рішення, світловий сценарій і композиція простору. Якщо інтеграція виконана недостатньо точно, виникає розрив між задумом і сприйняттям, так об'єкт може не узгоджуватися з контекстом або порушувати цілісність інтер'єрної концепції.

Першим аспектом цього поєднання виступають поняття концепту і контексту, де об'єкт колекційного дизайну зазвичай несе ідею, що має реалізуватися у просторі, тому інтеграція полягає в узгодженні смислу виробу із загальною історією інтер'єру. Помітну роль у цьому процесі відіграють технології розширеної (AR) і віртуальної (VR) реальності, що дозволяють помістити об'єкт у відповідну сцену з відповідними кольорами, фактурами, меблюванням і освітленням та перевірити, чи підсилюється задум у реальному контексті простору.

Наступним аспектом є поняття масштабу і сумісності даних. Навіть за точних моделей у CAD сприйняття пропорцій може змінюватися, коли об'єкт опиняється в інтер'єрі. Розширена реальність (AR) дає змогу розмістити модель у масштабі 1:1 у реальній кімнаті, а віртуальна (VR) виконує аналогічні перевірки

у віртуальному середовищі. Для мінімізації можливих помилок у масштабі та пропорціях, дизайнери часто від самого початку моделюють об'єкт у контексті віртуальної кімнати або поруч із фігурою людини як масштабним орієнтиром. Разом з тим важливою є міжсистемна сумісність, розміри приміщення з BIM або з 3D-сканування мають коректно потрапляти в середовище моделювання об'єкта, а деталізований об'єкт переноситися у візуалізацію без втрат. Використання відповідних форматів для переносу даних із одного програмного середовища в інше, наприклад, IFC, FBX, glTF, на практиці все ще демонструє складність цього процесу (Rehman et al., 2025).

Ще один аспект полягає в інтеграції, що потребує тісної взаємодії між усіма учасниками дизайн-проєкту. Спільні платформи візуалізації та хмарний обмін моделями дають змогу в реальному часі узгоджувати рішення, а саме швидко порівнювати варіанти розміщення об'єкта, фінішні матеріали та альтернативні конфігурації. Це поєднання проєктних моделей із візуалізацією в реальному часі підсилює взаємодію проєктанта із замовником та іншими спеціалістами, залученими в проєктний і виробничий процес (Rehman et al., 2025; Zheng et al., 2023).

Попри те, що дизайнерська практика рухається до більш інтегрованих проєктних процесів, все ще залишаються певні проблеми у застосуванні цифрових технологій. Через використання різних програм на різних етапах частина даних втрачається або переноситься некоректно, що створює бар'єри сумісності (Rehman et al., 2025; Zaman et al., 2024). Тому зростає потреба у стандартизованих протоколах обміну та надійних інструментах інтеграції між платформами (Rehman et al., 2025; Zheng et al., 2023). Додаткові обмеження пов'язані з тим, що візуалізація не завжди точно відтворює фізичні матеріали, а робота в реальному часі часто вимагає зниження деталізації заради продуктивності, отже подальший розвиток сумісності та міжплатформної взаємодії залишається особливо важливим (Zheng et al., 2023).

Аналіз основних етапів в проєктному процесі та певних аспектів цілісного зіставлення в контексті переходу проєктування від колекційного дизайн-об'єкта до його інтеграції в інтер'єрне середовище дозволив виокремити декілька критеріїв функціональності цифрових технологій, а саме точність і відповідність, швидкість ітерацій, комунікацію, сталість і ресурсний вплив. Такий підхід дозволяє оцінити не лише окремі етапи та технології, а й те, наскільки ефективно вони підтримують одночасно унікальність колекційного предмета та цілісність інтер'єрної концепції. Таблиця 1 узагальнює порівняння, з подальшим викладом результатів для кожної технології.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика цифрових технологій проектного підходу  
«колекційний об'єкт – інтер'єрне середовище»

Table 1. Comparative characteristics of digital technologies in the project approach  
"collection object – interior environment"

Технологія (етап)	Точність і відповідність	Швидкість ітерацій	Комунікація	Сталість і ресурсний вплив
Параметричне CAD-моделювання (моделювання)	Висока геометрична точність	Висока (регенерація варіантів)	Середня (потребує візуалізації/прототипу)	Потенціал оптимізації матеріалу/ергономіки
Генеративний дизайн і ШІ-моделі (моделювання)	Змінна (потребує доведення до виготовлення)	Висока (швидке генерування альтернатив)	Середня (краще з VR/рендером)	Потенціал оптимізації, але залежить від сценарію
Scan-to-model, scan-to-BIM (контекст/моделювання)	Висока для відтворення наявних умов	Висока (швидке захоплення контексту)	Середня (покращує узгодження обмежень)	Зменшує ризик переробок через точні дані
Адитивне виробництво, 3D-друк (прототипування)	Середня–висока, залежить від технології	Висока (швидкі прототипи)	Висока (тактильна перевірка)	Змішана: менше відходів, локальність, але енергоємність
CNC/лазер (субтрактивна фабрикація) (прототипування)	Висока точність і повторюваність	Висока (деталі за години)	Середня (краще з прототипом)	Змішана: відходи, але оптимізований розкрій зменшує їх
Фотореалістичний рендер + рушії реального часу з BIM (візуалізація)	Висока/середня, залежить від даних і оптимізації	Висока для зворотного зв'язку (real-time), середня для офлайн-рендера	Висока (порівняння альтернатив, швидші рішення)	Потенційно зменшує фізичні зразки/поїздки
XR: VR/AR та AVR-підхід (візуалізація/комунікація)	Висока для масштабу у VR; AR залежить від калібрування	Висока для перевірок і варіантів у сесії	Дуже висока (залучення, ранній відклик)	Потенційно зменшує пізні зміни/переробки

Джерело: складено авторами  
Source: compiled by the authors

Найвищою точність є там, де геометрія безпосередньо переходить у виготовлення. Параметричні CAD-системи дозволяють задавати розміри з субміліметровою точністю, а фізично обґрунтовані генеративні підходи, наприклад, топологічна оптимізація з обмеженнями, здатні дотримуватися заданих вимог до міцності чи маси. На етапі прототипування обробка на верстаках із числовим програмним керуванням (CNC) зазвичай дуже

точно відтворює цифрову модель, а висококласні 3D-принтери можуть забезпечувати зрізні допуски, навіть якщо споживчі принтери пошарового наплавлення (Fused deposition modeling, FDM) залишають помітні шари. Важливо, що функціональні випробування свідчать про здатність надрукованих компонентів відповідати експлуатаційним вимогам (Yang & Du, 2022). У візуалізації відповідність залежить від того, наскільки правдоподібно відтворено вигляд і масштаб: віртуальна реальність (VR) може забезпечувати масштаб 1:1 за умови коректного моделювання, тоді як точність доповненої реальності (AR) залежить від калібрування і може відхилятися на невеликому рівні. Ідею максимальної відповідності розвивають цифрові двійники, що підтримують актуальний цифровий відповідник фізичного середовища; теоретично цифровий двійник інтер'єру можна оновлювати разом зі змінами меблювання, а в управлінні об'єктами такі підходи вже активно розвиваються (Baker & Ely, n.d.).

Швидкість ітерацій істотно зросла порівняно з підходами, де кожна зміна вимагала повторного ручного опрацювання та окремої візуалізації, так параметричні моделі дозволяють швидко регенерувати варіанти, а генеративні алгоритми сприяють оперативному отриманню множини альтернатив. Прототипування скоротило цикли з тижнів до днів завдяки 3D-друку та швидкому CNC-різанню. Захоплення реальності також пришвидшує збір контекстних даних, так в одному з досліджень порівнюється процес ручного обміру (~2–4 м<sup>2</sup>/хв) із захопленням типу DroneDeploy (~92 м<sup>2</sup>/хв) для 360°-візуальної документації (Zumpano, 2025). Візуалізація в реальному часі стискає контур зворотного зв'язку, дозволяючи всім учасникам дизайн-проекту бачити зміни майже миттєво, хоча початкове налаштування VR-сцени потребує додаткових зусиль.

Комунікаційний ефект найсильніше проявляється в імерсивних форматах. Деталізовані моделі та вибух-схеми прояснюють логіку виготовлення, а фізичні прототипи передають ергономіку та тактильні якості. Дані свідчать, що VR/AR посилюють залучення замовника й зменшують пізні зміни завдяки ранньому, більш інформованому зворотному зв'язку (Lee et al., 2023).

Вимір сталості є змішаним, але керованим. Адитивне виробництво здатне зменшувати відходи та підтримувати перероблені матеріали, а відходи CNC можна скорочувати через оптимізоване розкроювання й траєкторії інструмента (Yang & Du, 2022). Візуалізація може зменшувати поїздки та потребу у фізичних зразках, а раннє виявлення проблем знижує ризик ресурсомістких переробок. Але при цьому використання обладнання, споживання енергії та матеріалів також має власний екологічний вплив.

Отримані результати уточнюють, як керувати цифровим проектуванням у зв'язці «колекційний об'єкт – інтер'єрне сере-

довище»: вони допомагають добирати технології під конкретну задачу та планувати перевірки на етапах моделювання, прототипування і візуалізації, зменшуючи ризик пізніх корекцій. Для навчального процесу результати окреслюють перелік компетентностей, потрібних у сучасній практиці: міжплатформний обмін даними, підготовка моделей для різних середовищ і організація дизайн-рев'ю за участю учасників проєкту.

**Наукова  
новизна та  
практична  
значимість  
дослідження**

**5**

У статті здійснено інтегративний огляд технологій 3D-моделювання, прототипування та візуалізації, що забезпечують перехід від проектування колекційного дизайн-об'єкта до його інтеграції в інтер'єрне середовище. Наукова новизна полягає у поєднанні колекційного та інтер'єрного дизайну в єдиному аналітичному контурі, а також у виокремленні наскрізного цифрового циклу «модель – прототип – візуалізація» як практично значущої конфігурації роботи. Запропоновано порівняльну характеристику відповідних технологій за вимірами: точності і відповідності, швидкості ітерацій, комунікації, сталості і ресурсного впливу. Уточнено відмінність між трансформаційними та поступовими інноваціями та ідентифіковано бар'єри впровадження, а саме міжплатформну сумісність і розрив між цифровою та фізичною реалізацією. Показано, що розширена реальність (XR) і рушії реального часу підсилюють співтворення, а технологія scan-to-BIM забезпечує точну прив'язку цифрової моделі до фактичних умов об'єкта, що дає змогу раніше виявляти проєктні помилки.

**Висновки**

**6**

Дослідження засвідчило, що цифровий перехід від колекційного дизайн-об'єкта до інтер'єрного середовища фактично відбувається як взаємопов'язаний процес моделювання, прототипування та візуалізації, у якому результати кожного етапу безпосередньо впливають на наступний. Встановлено, що параметричне й генеративне тривимірне моделювання підсилює варіативність рішень, перетворення даних сканування в інформаційну модель підвищує точність прив'язки до фактичних умов, а тривимірний друк і обробка на верстатах із числовим програмним керуванням забезпечують перевірку ергономіки та функціональності. Технології фотореалістичного рендерингу, рушіїв реального часу та XR мають комунікаційну перевагу порівняно з іншими засобами, оскільки підсилюють процес співтворення зі стейкхолдерами та зменшують кількість наступних змін. Порівняння технологій за точністю, швидкістю ітерацій, комунікацією, сталістю та ресурсним впливом показало сценарійну залежність екологічного ефекту: адитивні методи можуть зменшувати відходи, але потребують контролю енерговитрат, тоді як візуалізація скорочує потребу у фізичних зразках і по-

іздках. Найсуттєвішими бар'єрами впровадження визначено міжплатформну сумісність, розрив між цифровим поданням і фізичною реалізацією та дефіцит спеціалізованих компетентностей у проектних командах.

## Список бібліографічних посилань

- Baker, R., & Ely, S. (n.d.). *Get to know the digital twin*. Stantec. Retrieved January 24, 2026, from <https://www.stantec.com/en/services/architecture-interior-design/digital-twin-building-design-infographic>
- Blessing, L. T. M., & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a design research methodology*. Springer.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Cross, N. (2006). *Designerly ways of knowing*. Springer.
- Fossdal, F. H., Heldal, R., Dyvik, J., & Rutle, A. (2022). Fabricatable axis: An approach for modelling customized fabrication machines. *Software and Systems Modeling*, 21(5), 1907–1929. <https://doi.org/10.1007/s10270-022-01007-y>
- Helle, S., Nyssönen, T., Heimo, O., Sakari, L., & Lehtonen, T. (2025). Virtual reality applied to design reviews in shipbuilding. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(7), 72. <https://doi.org/10.3390/mti9070072>
- Jarža, L., Čavlović, A. O., Pervan, S., Španić, N., Klarić, M., & Prekrat, S. (2023). Additive technologies and their applications in furniture design and manufacturing. *Drvna Industrija*, 74(1), 115–128. <https://doi.org/10.5552/drwind.2023.0012>
- Kado, K., & Hirasawa, G. (2018, December 2–3). Two-way cooperation of architectural 3D CAD and game engine. In *VRCAI '18: International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry* [Conference proceedings] (Article 22). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3284398.3284420>
- Khaki, S., Duffy, E., Smeaton, A. F., & Morrin, A. (2021). Monitoring of particulate matter emissions from 3D printing activity in the home setting. *Sensors*, 21(9), Article 3247. <https://doi.org/10.3390/s21093247>
- Khan, A., Chang, S., & Chang, H. (2025). Generative AI approaches for architectural design automation. *Automation in Construction*, 180, Article 106506. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106506>
- Krippendorff, K. (2019). *Content analysis: An introduction to its methodology* (4th ed.). SAGE Publications.
- Lee, J. G., Seo, J., Abbas, A., & Choi, M. (2020). End-users' augmented reality utilization for architectural design review. *Applied Sciences*, 10(15), Article 5363. <https://doi.org/10.3390/app10155363>
- Lee, J.-K., Lee, S., Kim, Y.-C., Kim, S., & Hong, S.-W. (2023). Augmented virtual reality and 360 spatial visualization for supporting user-engaged design. *Journal of Computational Design and Engineering*, 10(3), 1047–1059. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwad035>
- Li, C., Zhang, T., Du, X., Zhang, Y., & Xie, H. (2025). Generative AI models for different steps in architectural design: A literature review. *Frontiers of Architectural Research*, 14(3), 759–783. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.10.001>
- Ma, J., Li, Z., Zhao, Z.-L., & Xie, Y. M. (2021). Creating novel furniture through topology optimization and advanced manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 27(9), 1749–1758. <https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2021-0047>
- Nicolau, A., Baba, M. N., Cerbu, C., Cioacă, C., Brenci, L.-M., & Cosereanu, C. (2025). Evaluation of 3D-Printed connectors in chair construction: A comparative study with traditional mortise-and-tenon joints. *Materials*, 18(1), Article 201. <https://doi.org/10.3390/ma18010201>

- Rehman, S. U., Kim, I., & Hwang, K.-E. (2025). Advancing BIM and game engine integration in the AEC industry: Innovations, challenges, and future directions. *Journal of Computational Design and Engineering*, 12(4), 26–54. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaf030>
- Shinde, Y., Lee, K., Kiper, B., Simpson, M., & Hasanzadeh, S. (2023). A systematic literature review on 360° panoramic applications in architecture, engineering, and construction (AEC) industry. *Journal of Information Technology in Construction*, 28, 405–437. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.021>
- Suvanjumrat, C., Chansoda, K., & Chookaew, W. (2024). Additive manufacturing advancement through large-scale screw-extrusion 3D printing for precision parawood powder/PLA furniture production. *Cleaner Engineering and Technology*, 20, Article 100753. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100753>
- Tetiranont, S., Anantsuksomsri, S., & Prasittisopin, L. (2024, October 22). *Understanding the similarities and differences between augmented and virtual reality (AR and VR) in architectural design education: A systematic review*. TechRxiv. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.172963198.88303055/v1>
- Yang, S., & Du, P. (2022). The application of 3D printing technology in furniture design. *Scientific Programming*, 2022, Article 1960038. <https://doi.org/10.1155/2022/1960038>
- Zaman, A. A. U., Abdelaty, A., & Sobuz, M. H. R. (2024). Integration of BIM data and real-time game engine applications: Case studies in construction safety management. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 117–140. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.007>
- Zheng, Y., Merchant, A., Laninga, J., Xiang, Z. X., Alshaebi, K., Arellano, N., Romaniuk, H., Fai, S., & Sun, D. H. (2023). Comparison of characteristics of BIM visualization and interactive application based on WebGL and game engine. In G. Tucci, C. Balletti, V. Bonora, F. Fassi, A. Spanò, E. I. Parisi, M. Previtali, & G. Sammartano (Eds.), *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: Vol. 48(M-2). 29th CIPA Symposium «Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage. Humanities and Digital Technologies for Shaping the Future»* (pp. 1671–1677). ISPRS. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1671-2023>
- Zumpano, M. (2025, August 13). *Digital twins in design: Dynamic data models of physical assets transforming the built world*. BHDP. <https://www.bhdp.com/insights/digital-twins-design>

## References

- Baker, R., & Ely, S. (n.d.). *Get to know the digital twin*. Stantec. Retrieved January 24, 2026, from <https://www.stantec.com/en/services/architecture-interior-design/digital-twin-building-design-infographic> [in English].
- Blessing, L. T. M., & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a design research methodology*. Springer [in English].
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a> [in English].
- Cross, N. (2006). *Designerly ways of knowing*. Springer [in English].
- Fossdal, F. H., Heldal, R., Dyvik, J., & Rutle, A. (2022). Fabricatable axis: An approach for modelling customized fabrication machines. *Software and Systems Modeling*, 21(5), 1907–1929. <https://doi.org/10.1007/s10270-022-01007-y> [in English].
- Jarža, L., Čavlović, A. O., Pervan, S., Španić, N., Klarić, M., & Prekrat, S. (2023). Additive technologies and their applications in furniture design and manufacturing. *Drvna Industrija*, 74(1), 115–128. <https://doi.org/10.5552/drvind.2023.0012> [in English].
- Helle, S., Nyyssönen, T., Heimo, O., Sakari, L., & Lehtonen, T. (2025). Virtual reality applied to design reviews in shipbuilding. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(7), 72. <https://doi.org/10.3390/mti9070072> [in English].
- Kado, K., & Hirasawa, G. (2018, December 2–3). Two-way cooperation of architectural 3D CAD and game engine. In *VRCAI '18: International Conference on Virtual Reality Continuum and its*

- Applications in Industry* [Conference proceedings] (Article 22). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3284398.3284420> [in English].
- Khaki, S., Duffy, E., Smeaton, A. F., & Morrin, A. (2021). Monitoring of particulate matter emissions from 3D printing activity in the home setting. *Sensors*, 21(9), Article 3247. <https://doi.org/10.3390/s21093247> [in English].
- Khan, A., Chang, S., & Chang, H. (2025). Generative AI approaches for architectural design automation. *Automation in Construction*, 180, Article 106506. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106506> [in English].
- Krippendorff, K. (2019). *Content analysis: An introduction to its methodology* (4th ed.). SAGE Publications [in English].
- Lee, J. G., Seo, J., Abbas, A., & Choi, M. (2020). End-users' augmented reality utilization for architectural design review. *Applied Sciences*, 10(15), Article 5363. <https://doi.org/10.3390/app10155363> [in English].
- Lee, J.-K., Lee, S., Kim, Y.-C., Kim, S., & Hong, S.-W. (2023). Augmented virtual reality and 360 spatial visualization for supporting user-engaged design. *Journal of Computational Design and Engineering*, 10(3), 1047–1059. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwad035> [in English].
- Li, C., Zhang, T., Du, X., Zhang, Y., & Xie, H. (2025). Generative AI models for different steps in architectural design: A literature review. *Frontiers of Architectural Research*, 14(3), 759–783. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.10.001> [in English].
- Ma, J., Li, Z., Zhao, Z.-L., & Xie, Y. M. (2021). Creating novel furniture through topology optimization and advanced manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 27(9), 1749–1758. <https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2021-0047> [in English].
- Nicolau, A., Baba, M. N., Cerbu, C., Cioacă, C., Brenci, L.-M., & Cosoreanu, C. (2025). Evaluation of 3D-Printed connectors in chair construction: A comparative study with traditional mortise-and-tenon joints. *Materials*, 18(1), Article 201. <https://doi.org/10.3390/ma18010201> [in English].
- Rehman, S. U., Kim, I., & Hwang, K.-E. (2025). Advancing BIM and game engine integration in the AEC industry: Innovations, challenges, and future directions. *Journal of Computational Design and Engineering*, 12(4), 26–54. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaf030> [in English].
- Shinde, Y., Lee, K., Kiper, B., Simpson, M., & Hasanzadeh, S. (2023). A systematic literature review on 360° panoramic applications in architecture, engineering, and construction (AEC) industry. *Journal of Information Technology in Construction*, 28, 405–437. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.021> [in English].
- Suvanjumrat, C., Chansoda, K., & Chookaew, W. (2024). Additive manufacturing advancement through large-scale screw-extrusion 3D printing for precision parawood powder/PLA furniture production. *Cleaner Engineering and Technology*, 20, Article 100753. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100753> [in English].
- Tetiranont, S., Anantsuksomsri, S., & Prasittisopin, L. (2024, October 22). *Understanding the similarities and differences between augmented and virtual reality (AR and VR) in architectural design education: A systematic review*. TechRxiv. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.172963198.88303055/v1> [in English].
- Yang, S., & Du, P. (2022). The application of 3D printing technology in furniture design. *Scientific Programming*, 2022, Article 1960038. <https://doi.org/10.1155/2022/1960038> [in English].
- Zaman, A. A. U., Abdelaty, A., & Sobuz, M. H. R. (2024). Integration of BIM data and real-time game engine applications: Case studies in construction safety management. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 117–140. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.007> [in English].
- Zheng, Y., Merchant, A., Laninga, J., Xiang, Z. X., Alshaebi, K., Arellano, N., Romaniuk, H., Fai, S., & Sun, D. H. (2023). Comparison of characteristics of BIM visualization and interactive application based on WebGL and game engine. In G. Tucci, C. Balletti, V. Bonora, F. Fassi, A. Spanò, E. I. Parisi, M. Previtali, & G. Sammartano (Eds.), *The International Archives of*

- the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: Vol. 48(M-2). 29th CIPA Symposium "Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage. Humanities and Digital Technologies for Shaping the Future"* (pp. 1671–1677). ISPRS. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1671-2023> [in English].
- Zumpano, M. (2025, August 13). *Digital twins in design: Dynamic data models of physical assets transforming the built world*. BHPD. <https://www.bhdp.com/insights/digital-twins-design> [in English].

Надійшла 09.02.2026

Прийнята 12.03.2026

Стаття була вперше опублікована онлайн 22.05.2026



This is an open access journal, and all published articles are licensed under a Creative Commons Attribution 4.0.