

УДК 72.01

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.38.2.1>

РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ЗБЕРЕЖЕННІ ТА ВІДНОВЛЕННІ АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ УКРАЇНИ

Балабанов Ігор Володимирович

аспірант кафедри інноваційних технологій у дизайні архітектурного середовища,
Харківський національний університет міського господарства

імені О.М. Бекетова, Харків, Україна,

e-mail: Ihor.Balabanov@kname.edu.ua, orcid: 0009-0005-6460-0405

Анотація. Традиційні методи реставрації пам'яток архітектури часто включають фізичні втручання, які можуть не точно відтворити початкову структуру об'єкта, що може призвести до втрати історичної цілісності. Існує багато причин таких спотворень, основними традиційно вважаються такі: неправильний аналіз об'єкта, помилки у проєктній частині реконструкції, помилки у виборі технологій реставрації.

Мета. Виявити коло науково-практичних напрямів, орієнтованих на використання інструментарію штучного інтелекту задля збереження архітектурної спадщини України.

Методологія. На основі напрацювань наукової архітектурної школи Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова засоби штучного інтелекту у реставрації та збереженні пам'яток архітектури поділено за трьома основними блоками – аналіз, моделювання та проєктування. По кожному блоку проведено аналіз принципів використання інструментів ШІ.

Результати. За останні десятиліття штучний інтелект (ШІ) став важливим інструментом у сфері реставрації архітектурної спадщини. Десятки спеціалізованих програмних продуктів, що активно використовують ШІ, дозволяють спростити та прискорити аналіз архітектурних об'єктів, підвищити точність їх відновлення, мінімізувати ризики людського фактора та критичних помилок. ШІ трансформує традиційні методи реставрації, пропонуючи нові можливості для аналізу, документування та відновлення історичних об'єктів. Однією з найбільш перетворюючих інновацій у цій галузі стала 3D-реконструкція стародавніх пам'яток, яка може не лише відновити у цифровому вигляді складні деталі об'єктів спадщини, а й надати цінну інформацію про їхнє історичне значення.

Наукова новизна. У національній науковій традиції недостатньо досліджено проблеми, що виникають у таких сферах використання ШІ, як збір даних, складність досліджуваних об'єктів та етичні аспекти збереження культурної спадщини. Авторами дослідження виявлено та узагальнено можливі перспективи використання штучного інтелекту у збереженні архітектурної спадщини.

Практична значущість. Це дослідження спрямоване на виявлення та фіксацію революційного потенціалу ШІ у збереженні спадщини, що гарантує, що пам'ятки культури та архітектури не тільки зберігаються, а й можуть бути відновлені з недоступною раніше точністю.

Ключові слова: штучний інтелект, архітектура, 3D-моделювання, реконструкція, спадщина.

ВСТУП

Архітектура є одним із найбільш довговічних видів мистецтва. Разом із тим війни, соціальні потрясіння, природні катаклізми і вандалізм демонструють, якої шкоди може бути завдано об'єктам, що часто є спадщиною не тільки регіонального, але й всесвітнього значення. За даними ЮНЕСКО, близько 60 % об'єктів Всесвітньої спадщини перебувають під загрозою руйнування. За винятком війн та катаклізму, цей факт має кілька пояснень, серед них: соціально-економічні проблеми регіонів, висока трудомісткість та ресурсозатратність реставраційних та консервувальних робіт, людський фактор та пов'язана з ним суб'єктивність підходів, недостатнє технічне та експертне супроводження робіт [28].

Традиційні методи реставрації пам'яток архітектури часто включають фізичні втручання, які можуть не точно відтворити початкову структуру об'єкта, що може призвести до втрати історичної цілісності [23]. Існує багато причин таких спотворень, основними традиційно вважаються такі: неправильний аналіз об'єкта, помилки у проєктній частині реконструкції, помилки у виборі технологій реставрації. Багато з цих проблем можна вирішити, застосовуючи методи 3D-реконструкції на основі штучного інтелекту. Це дозволяє створювати високоточні цифрові моделі, що відображають початковий дизайн, масштаб та деталі пам'ятника [14]. Тривимірні реконструкції служать безцінними інструментами для дослідників, дозволяючи їм аналізувати структуру і матеріали пам'ятника способами, які неможливі у разі використання виключно фізичних методів реставрації [29].

Про те, наскільки відповідально світова громадськість ставиться до теми застосування цифрових технологій у збереженні спадщини, свідчить організований ЮНЕСКО проєкт «Занурення в спадщину», який є частиною Програми з культури та цифрових технологій [35]. У процесах збереження архітектурних об'єктів культурної та історичної спадщини ШІ вже почав активно впливати на професійні спільноти по всьому світі.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Початок практик застосування 3D-технологій у збереженні архітектурної спадщини традиційно належить до 1980-х років. У цей період IBM стала піонером у використанні технології цифрового проєктування та візуалізації споруд [11]. 3D-оцифрування об'єктів спадщини стало мейнстримом на початку 2000-х років [32]. Цифрові 3D-реконструкції історичної архітектури все частіше

використовуються в таких медіаконтекстах, як музеї, документальні фільми, комп'ютерні ігри, інтернет-платформи та багато іншого [24].

У Великій Британії у 1983–1984 роках були реконструйовані в цифровому вигляді стародавні споруди римської храмової ділянки в Баті, а 1985 р. – легіонерські лазні в Карлеоні. У період з 1984 по 1986 археологи Бірте Кьольбе-Біддл і Мартін Біддл працювали з Науковим центром IBM UK над створенням цифрових 3D-реконструкцій Старого собору VII століття у Вінчестері [34]. Мета всіх цих проєктів полягала в тому, щоб дати публіці уявлення про архітектуру, якої сьогодні вже не існує, а 3D-моделі виступали як презентаційні матеріали.

У 1989 р. здійснено 3D-реконструкцію романської церкви Ключі III у Бургундії під керівництвом архітектора Манфреда Куба, що була представлена у телевізійному документальному фільмі [21].

Нині 3D-реконструкція об'єктів архітектурної спадщини стала практично стандартною практикою. Однак варто особливо зазначити, що відновлення цілісної картини за наявними розрізненими фрагментами довгий час було вкрай важким і трудомістким процесом [30]. Саме з цієї причини велика увага архітекторів та всіх зацікавлених у збереженні культурної спадщини сторін зосередилася на впровадженні у науково-дослідні та виробничі практики інструментарію штучного інтелекту.

Дослідження континууму публікацій дозволило виявити кілька тематичних блоків. Етичні проблеми використання ШІ розглядали такі фахівці, як К. Гейт [15]; проблеми ролі ШІ у збереженні культурної спадщини вивчають Т. В. Шевчук [3] і Дас Бішва [9]. Проблеми відновлення культурних артефактів присвячені праці Ніно Берідсе [5]. Системи машинного навчання у реставрації пам'яток культури та архітектури вивчає Джомана Ахмед Габер [13].

МЕТА

Мета дослідження – виявити коло науково-практичних напрямів, орієнтованих на використання інструментарію штучного інтелекту задля збереження архітектурної спадщини України.

Методи дослідження. На відміну від вікових традицій класичних методів реставрації, цифрові інструментарії останніх тридцяти років розвиваються вибухоподібно. Кількість вдалих прикладів виконання однакових операцій, але за допомогою різних обчислювальних інструментів вкрай висока. З цієї причини для отримання стійкого результату нами обрано класичний метод емпіричних досліджень – спостереження, узагальнення,

експеримент, фіксація результатів, впровадження в практичну діяльність [7]. У результаті дослідження сформувався за декількома напрямками, а саме: виявлення вдалих прикладів використання коштів ШІ на різних етапах реставраційної діяльності; повторення виявлених прикладів у відповідних програмних продуктах (за спрощеною процедурою); фіксація досвіду. Враховуючи той факт, що навіть за умови достатнього фінансування проєкту існують певні обмеження, експерименти обмежувалися апробаціями у тріальних версіях, якщо такі були доступні. При цьому основні ключові дані з досліджень інших авторів зберігалися та входили у зміст роботи з відповідними примітками.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Одним із ключових внесків ШІ у збереження культурної спадщини є його здатність обробляти великі масиви даних та приймати на їх основі рішення. Програмні продукти за підтримки ШІ можуть виявляти закономірності в наборах аналізованих даних, виявляти ознаки погіршення стану фізичних об'єктів і навіть прогнозувати майбутні ушкодження, що має вирішальне значення для запобіжних зусиль щодо їх збереження [6]. Глибоке навчання, різновид машинного навчання довело свою високу ефективність в аналізі та інтерпретації складних даних, таких як зображення, 3D-сканування та історичні документи.

Віртуальна реконструкція з використанням штучного інтелекту дозволяє відтворити пошкоджені чи втрачені культурні артефакти та історичні місця. Ці цифрові моделі дають змогу отримати повніше уявлення про минуле, оскільки вони не тільки зберігають зовнішній вигляд спадщини, а й забезпечують динамічний, інтерактивний досвід майбутніх поколінь [16].

На основі напрацювань наукової архітектурної школи Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова ми розділили засоби штучного інтелекту у реставрації та збереженні пам'яток архітектури за трьома основними блоками – аналіз, моделювання та проектування [2]. Межами дослідження обрано напрям визначення перспектив використання коштів ШІ у повоєнному відновленні архітектурної спадщини Харкова.

Роль штучного інтелекту в аналізі архітектурної спадщини

Помітне місце в континуумі публікацій, присвячених проблемам використання ШІ у реставрації пам'яток архітектури, займають інструменти, орієнтовані на оцінку збитків,

завданих об'єктом, та майбутніх обсягів відновлювальних робіт. Нещодавні розробки в галузі глибокого навчання ШІ для обробки зображень привели до розвитку методів автоматизованого виявлення пошкоджень об'єктів реставрації на основі зіставлення зображень та тривимірних хмар точок [26].

Оптичні методи зондування, такі як безпілотні літальні апарати (БПЛА) та камери, використовувалися як альтернатива візуальному огляду пошкоджень об'єктів культурної спадщини. Щоб мінімізувати участь людини, значна увага приділялась інтелектуальним методам ідентифікації ушкоджень, що ґрунтуються на алгоритмах машинного навчання. ШІ (зокрема, глибоке навчання) показав видатні результати у виявленні ушкоджень з урахуванням зображень, але може визначати лише двовірні поверхневі ушкодження на об'єктах культурної спадщини. Інші методи зондування, такі як тривимірні хмари точок, інфрачервоне зондування, георадар та вібраційний відгук, поєднані з алгоритмами штучного інтелекту, дозволили досягти ще більш стійких і докладних результатів [38].

Цифрове архівування та взаємодія з громадськістю.

Крім фізичної реставрації, цифрові технології також зробили революцію у тому, як ми документуємо та поширюємо інформацію про історичні пам'ятки. Цифрові архіви дозволяють зберігати та аналізувати докладні записи про процеси реставрації, використані матеріали та історичний контекст. Це гарантує, що майбутні покоління матимуть доступ до знань, необхідних для продовження зусиль щодо збереження природи. Кошти штучного інтелекту значно скорочують витрати фінансів та час на обробку архівних даних.

Цифровий сторітелінг.

Створюючи цифрові архіви та віртуальні тури, ми можемо залучити громадськість до розповіді про історичні пам'ятки. Ці інструменти полегшують людям вивчення об'єктів культурної спадщини без їх фізичного відвідування, підвищуючи доступність та поінформованість про важливість збереження.

Інтерактивні освітні інструменти.

Платформи, що використовують 3D-моделі, віртуальні тури та інтерактивні часові шкали, допомагають інформувати громадськість про історію та значення цих пам'яток. Вони особливо ефективні для студентів та дослідників, які можуть детально вивчити ці цифрові реконструкції з будь-якої точки світу.

Штучний інтелект також робить свій внесок у реставрацію та консервацію творів

мистецтва. Аналізуючи скани з високою роздільною здатністю або фотографії пошкоджених частин будівель, алгоритми штучного інтелекту можуть ідентифікувати візерунки, кольори та текстури, щоб допомогти реставраторам відтворити відсутні або пошкоджені елементи. Методи глибокого навчання можуть бути використані для створення моделей, які будуть використовуватися для реконструкції пошкоджених елементів синтезу мистецтва в архітектурі. Тренуючи модель з використанням оригінальних зображень твору мистецтва до пошкодження, він створить відновлене зображення для твору мистецтва, яке допоможе у відновленні творів мистецтва. Це заощадить час, обійдеться дешевше порівняно з ремонтом, який залежить від людини, і, безумовно, матиме більш якісний результат, тому що він залежить від оригінальних фотографій та відеокартини чи фрески.

Предиктивний аналіз.

Завдяки інтеграції засобів штучного інтелекту в методи предиктивної аналітики прогностика змогла просунутися від традиційних статистичних методів до динамічної системи на основі машинного навчання (ML), що дозволяє реставраторам передбачати можливі фізичні деградації артефактів культурної спадщини з більш високою точністю. Також прогностичні моделі дозволяють враховувати майбутні накладні витрати на утримання об'єктів спадщини, споживання енергії та витрати на технічне обслуговування, допомагаючи архітекторам приймати найбільш економічні проєктні рішення [10].

Аналіз етичних кордонів.

Активізація дебатів про аспекти застосування інновацій штучного інтелекту в різних галузях реконструкції та реставрації культурної спадщини спонукала багато дослідних центрів, державні та приватні установи спробувати формалізувати певний звід правил, що задають етичні межі реалізації цих потужних алгоритмів [4]. Незважаючи на сформовані багатьма поколіннями архітекторів-реставраторів визначення етичних принципів, відповідальних або таких, що заслуговують на довіру, підходів до проблеми відновлення та збереження культурних артефактів, галузева перспектива оцінки наслідків використання ШІ в цьому напрямі практично відсутня [33].

Дуже важливо визнавати етичні проблеми та обмеження ШІ, коли йдеться про захист культурних цінностей. Оскільки алгоритми ШІ залежать від даних, на яких вони навчаються, упереджені чи неточні дані можуть вплинути на результати та інтерпретацію

матеріалів, що аналізуються. Крім того, оскільки моделі ШІ також можуть включати суб'єктивний вибір операторів, що ґрунтуються на людських навичках і уявленнях щодо збереження оригінальності і цілісності твору мистецтва, до отримуваних результатів слід ставитися з певною обережністю [12]. На жаль, як і багато дослідників, автори даної роботи також не мають чітко сформованої когнітивної карти етичних підходів до використання ШІ. І це логічно: занадто молодий галузевий сектор, не накопичено достатнього емпіричного досвіду.

Роль штучного інтелекту у моделюванні архітектурної спадщини

У цифровому моделюванні архітектурної спадщини ми виділяємо три основні напрями, а саме: генерація, формування та управління. Натепер це робочі терміни, які згодом коригуватимуться. Під «генерацією цифрових моделей» маються на увазі автоматизовані засоби їх створення, серед яких: сканери, засоби перекладу вербальних моделей в цифрові (опис далі за текстом), засоби створення моделей на основі зображень тощо. «Формування цифрових моделей» передбачає їх створення та редагування у спеціалізованих програмних продуктах з безпосередньою участю оператора, наприклад AutoCAD, Rhino 3D, SketchUp. «Управління» – програмні оболонки орієнтовані на кінцевого споживача і дозволяють маніпулювати сформованими цифровими моделями.

Генерація цифрових моделей.

3D-сканери. 3D-сканування із застосуванням штучного інтелекту (ШІ) – це передова технологія, яка дозволяє швидко та точно оцифровувати фізичні об'єкти, автоматизувати обробку даних та покращувати якість моделей. На ринку обладнання найбільш поширені кілька таких технологій:

- Лазерні сканери на основі технології LiDAR (Light Detection and Ranging) для точного (до 0,1 мм) відтворення об'єкта сканування [36];

- Фотограмметричні системи – перетворюючі цикли 2D-фотографій на 3D-модель [19]. Прикладом софту, що використовує цю технологію, є поширений RealityScan. Це програмне рішення для фотограмметрії, яке допомагає створювати 3D-моделі з фотографій або лазерних сканувань. RealityScan значно підвищує продуктивність, точність, якість та безпеку всього проєкту [17];

- Структуроване світло, що використовують проєкції сітки світла на об'єкт [22].

Що стосується методів генерації цифрових моделей, ШІ дозволяє в автоматичному

режимі відновлювати втрачені фрагменти будинків. У цьому ключі великий інтерес становлять Scan-to-BIM технології [20].

Одна з найважливіших переваг застосування ШІ у скануванні об'єктів культурної спадщини – збереження даних. Точна тривимірна модель із забезпеченим швидким доступом до будь-якого її елемента та перспективами виведення даних у робочу документацію дозволить на більш точному та економічному рівні відновлювати втрачені фрагменти, якщо пам'ятник зазнає пошкодження. Архітектори та реставратори можуть використовувати ці скани для створення високоточних 3D-моделей, гарантуючи, що будь-які ремонтні роботи чи реконструкції відповідають оригінальній структурі. Наприклад, після трагічної пожежі в соборі Паризької Богоматері раніше проведене 3D-сканування відіграло вирішальну роль у плануванні його реставрації. Сканування надало реставраторам точні дані про початкову форму конструкції, гарантуючи, що відновлення залишається максимально автентичним [18].

Віртуальна та доповнена реальність.

Віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR) відкрили нові можливості у взаємодії із цифровими моделями пам'яток архітектурної спадщини. Ці технології особливо корисні для відтворення структур, які не існують у повному обсязі або були пошкоджені. Використовуючи віртуальну реальність, історики та архітектори можуть відтворити цілі архітектурні комплекси, які були зруйновані чи значно змінені з часом. Ця цифрова реконструкція дозволяє людям побачити пам'ятку такою, якою вона була колись, навіть якщо фізично об'єкт більше не існує. Наприклад, цифрові реконструкції будівель, зруйнованих під час Другої світової війни, як у фільмі «Друга світова війна», допомагають зберегти пам'ять про ці історичні місця та поділитися нею.

Поєднання можливостей штучного інтелекту з інструментарієм доповненої реальності (AR) дозволяє реставраторам поєднувати цифрові моделі з фізичними об'єктами, що дає змогу візуалізувати та аналізувати підсумкові результати реставраційних робіт у режимі реального часу. Це допомагає гарантувати, що будь-які нові втручання в об'єкт реставрації будуть повністю відповідати первісному дизайну та стилю [25].

Роль штучного інтелекту у реставраційних роботах зі збереження архітектурної спадщини

Аналіз континууму публікацій, присвячених ролі штучного інтелекту

в архітектурному проектуванні та, зокрема, реставрації пам'яток архітектури, дозволив виявити кілька таких аспектів.

Генеративний дизайн – це застосування алгоритмів штучного інтелекту для створення та оптимізації проєктів. ШІ використовує алгоритми та методи машинного навчання для вивчення ряду можливостей проектування та пошуку оптимальних рішень на основі заданих обмежень та цілей. Проектувальники, інженери та виробники можуть вводити цілі та обмеження проєкту, а система штучного інтелекту генерує кілька варіантів проєкту, що відповідають цим вимогам. У цьому випадку ШІ відіграє ключову роль у процесах проектування реставраційних робіт, прискорюючи розробку проєктних пропозицій, оптимізуючи вибір типів реставраційних робіт та матеріалів, а також пропонуючи неочевидні дизайнерські рішення [37].

Також дуже цінними якостями ШІ є можливість автоматизації рутинних проєктних завдань. Наприклад, допомога в аналізі законодавчих, регіональних, природних та фізичних обмежень у проектуванні значно полегшує проєктні процеси та знижує ризики, пов'язані з людським чинником. Однак тут слід особливо наголосити на проблемі неточностей в інтерпретації даних. Сьогодні безліч дослідників та практиків скаржаться на «вільності» ШІ у формуванні інформаційних пакетів [8].

Матеуш Звежицький у роботі «On AI Adoption Issues in Architectural Design – Identifying the issues based on an extensive literature review» [40] визначає роль ШІ на різних етапах розробки архітектурного проєкту: концептуальне чи передпроєктне, ескізне проектування, розробка проєкту, будівельна документація, закупівля, управління будівництвом та операції для керування будівлею.

На концептуальній чи передпроєктній фазі ШІ допомагає чіткіше формалізувати розуміння характеру проєкту та вимог клієнта, визначати масштаб проєкту та зробити деталізацію всіх завдань. Агенти штучного інтелекту допомагають генерувати параметри для проєкту з урахуванням клімату, топографії, протипожежних вимог, зонування, доступності та числових даних (кількість поверхів, кімнат тощо). Система допомагає автоматично виконувати аналіз території будівництва, проводити містобудівний аналіз та робити техніко-економічне обґрунтування [20].

Здатність штучного інтелекту створювати концептуальні 3D-візуалізації бажаного проєкту на ранніх етапах виводить сучасне архітектурне проектування на революційний рівень. Патрік Шумахер, директор Zaha Hadid

Architects, розповів, що фірма використовує генератори тексту у зображення на основі штучного інтелекту, такі як DALL-E 2 та MidJourney, для вивчення концепцій дизайну для своїх проєктів [31].

На етапі розробки проєкту концептуальні ідеї та схематичні креслення перетворюються на докладні макети, форми та функції. Це включає архітектурні плани, розрізи, фасади і створення остаточної моделі проєкту. Моделі машинного навчання можуть допомогти у створенні оптимізованих планів поверхів та прогнозуванні продуктивності на основі таких факторів, як освітлення, шум та клімат. Інструменти моделювання дозволяють архітекторам досліджувати кілька варіантів проєктування [39].

Моделі прогнозування витрат та часу, створені штучним інтелектом, можуть запобігти надмірним витратам коштів за великомасштабними проєктами. ШІ може відстежувати робочі місця та ризики на місці, дозволяючи агентам машинного навчання оцінювати субпідрядників щодо зниження ризику. Роботи можуть захоплювати 3D-зображення, проводити огляд майданчика та створювати точні звіти, що відповідають планам проєкту [27; 1].

Алгоритми машинного навчання також можуть допомогти в автоматизації певних аспектів процесу реставрації, таких як визначення матеріалів, що відповідають оригіналу, або моделювання того, як конкретний ремонт вплине на пам'ятник із часом.

Ще одним інноваційним застосуванням ШІ у відновленні є усунення минулих втручань, які виявилися шкідливими. У багатьох випадках попередні реставрації проводилися з використанням методів, які згодом виявилися контрпродуктивними. ШІ може допомогти виявити ці помилки і виправити їх, повернувши роботу до її найближчого вихідного стану.

ВИСНОВКИ

Позитивні аспекти застосування інструментарію штучного інтелекту у реставрації та збереженні пам'яток архітектури:

- В умовах дефіциту ресурсів, економічної кризи та депопуляції українських міст, що намітилася, збереження культурної спадщини стає проблемою, яка потребує особливих підходів. З одного боку, підтримання у належному стані безлічі пам'яток архітектури великих міст стає серйозним моментом, що гальмує, у досягненні ними фізичних параметрів стійкості. З іншого боку, збереження культурної спадщини є важливим елементом підтримки ідентичності націй. Без розвитку соціальних інституцій жодна країна не зможе

подолати труднощі, пов'язані з переходом до сталого розвитку. Кошти ШІ у реставрації не здатні радикально вирішити зазначену суперечність. Але вони здатні значно знизити його гостроту за рахунок точності, економності, широти прогнозування та надання докладних аналітичних матеріалів для ухвалення стратегічних рішень.

- Системи на базі штучного інтелекту можуть швидко обробляти великі обсяги даних, що значно скорочує час, необхідне прийняття рішень щодо масштабування та обсягів реконструкцій. Така ефективність особливо корисна у ситуаціях, коли необхідно швидко згенерувати безліч сценаріїв розвитку історичної тканини міста та вибрати з них оптимальний.

- ШІ може використовувати накопичені по об'єктах дані для прогнозування сценаріїв потенційної шкоди, що дозволяє організаціям ефективно готуватися до ризиків та знижувати їх. Такий запобіжний підхід може заощадити час та ресурси у довгостроковій перспективі.

- Автоматизуючи процес оцінки, ШІ знижує потребу у великій кількості робочої сили, що призводить до економії коштів для підприємств та організацій. Ця ефективність також може привести до швидшого опрацювання претензій у страховій галузі.

- Технології штучного інтелекту дозволяють здійснювати моніторинг активів та майна у режимі реального часу, що дозволяє негайно оцінювати збитки після інцидентів. Ця можливість особливо цінна у таких галузях, як будівництво та страхування.

Негативні аспекти застосування інструментарію штучного інтелекту у реставрації та збереженні пам'яток архітектури:

- Періодичні «сплески фантазії» у ШІ. Багато дослідників вже стикалися з проблемою отримання вичерпних відповідей від програм, оснащених ШІ, які не підтверджуються іншими джерелами.

- Суб'єктивність алгоритмів навчання ШІ. Це досить поширена проблема, пов'язана із залежністю діалогів «людина – машина» від поточного мислення тих, хто проводить роботу. Описана проблема періодично впливатиме на вихідні результати, що може призвести до культурно-історичних упереджень алгоритмів ШІ.

- Етична проблема. Вона полягає в тому, що використання ШІ для оцифрування та віртуального відтворення проєктів з відновлення або збереження культурної спадщини може стати прикриттям для її знищення. Це пов'язано з ризиком «продавлювання» рішень про знесення міських споруд, які територіальні громади цінують історично та естетично, але не

є національною спадщиною. У таких ситуаціях такі методи, як 3D-моделювання та віртуальна реальність, що забезпечують онлайн-доступ до цієї спадщини, можуть бути використані для виправдання зносу з інших, суто комерційних причин, таких як будівництво міських споруд із комерційним використанням, які пропонують великі економічні стимули або доходи.

Насамкінець хочеться навести цитату з Екклесіаста: «Що було, те і буде; і що робилося, те і буде робитися, і немає нічого нового під сонцем. Буває щось, про що говорять: «дивись, ось це нове»; але це було вже у віках, які були раніше за нас». Узагальнюючи можливості та перспективи застосування засобів ШІ у реставрації пам'яток архітектури, можна виділити такі моменти: швидкість, варіабельність, зняття з архітекторів рутинних завдань, розширення доступу до інформації, легкість та швидкість управління даними, надання нових поглядів на проблему тощо. У своїй сукупності інструментарій ШІ веде практично до двох речей: перше – зниження витрат на реконструкцію за рахунок зниження попиту на висококваліфікованих фахівців; друге – підвищення попиту на ручну висококваліфіковану працю (як наслідок першого пункту). Для архітектурної педагогіки нова реальність означає необхідність усунення акцентів у підготовці студентів на прикладні практики.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Фоменко О.О., Данилов С.М. Принципи формування інформаційних BIM-пакетів «програмного комплексу моделювання міста як динамічної системи». *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 6(018). С. 125–135. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.125.1015>.
- [2] Фоменко О.О., Данилов С.М. Симбіоз архітектури і навколишнього середовища: проблеми і концепції. *Науковий вісник будівництва, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова*. 2025. № 112. С. 122–130. DOI: <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2025.112.1.15>.
- [3] Шевчук Т.В., Тарасюк М.Ю. Роль штучного інтелекту у збереженні історичних пам'яток. *Problems of World History*. 2025. № 30. С. 183–190. DOI: <https://doi.org/10.46869/2707-6776-2025-30-10>.
- [4] Belhi A., Yang X.S., Sherratt S., Dey N., Joshi A. Machine Learning and Digital Heritage: The CEPROQHA Project Perspective. *Fourth International Congress on Information and Communication Technology. Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Singapore*. 2020. Vol. 1027. P. 363–374. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-32-9343-4_29.
- [5] Beridse N. Artificial Intelligence in Cultural Preservation: Reviving Heritage through Deep Learning and Virtual Reconstruction. *IJARIE*. 2025. Vol. 11. P. 636–642. URL: https://ijarie.com/AdminUploadPdf/Artificial_Intelligence_in_Cultural_Preservation__Reviving_Heritage_through_Deep_Learning_and_

[Virtual_Reconstruction_ijarie26458.pdf](#) (дата звернення: 19.06.2025).

[6] Cajic E. Application of Artificial Intelligence in Cultural Heritage. *The Fourth International Scientific Conference The Importance of Media Interpretation for the Promotion of Cultural Heritage*. 2022. Vol. 4. Article 14. P. 333–352. DOI: https://doi.org/10.18485/AKADEMAC_NSK.2023.4.CH14

[7] Campbell D. & Stanley J. Experimental and quasi-experimental designs for research. Boston : Houghton Mifflin Company, 1963. 88 p.

[8] Ceylan S. Artificial Intelligence in Architecture: An Educational Perspective. In *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Supported Education. CSEDU; SciTePress*. 2021. Vol. 1. P. 100–107. DOI: <https://doi.org/10.5220/0010444501000107>.

[9] Dr-Bishwa D., Maringanti H., Dash N. Role of Artificial Intelligence in Preservation of Culture and Heritage. *Conference: ICDRCT*. 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/362253484_Role_of_Artificial_Intelligence_in_Preservation_of_Culture_and_Heritage (дата звернення: 19.06.2025).

[10] Dahiya V. K. Exploring the Role of Artificial Intelligence in Predictive Analytics for Financial Markets. *International Conference on Computing. Sciences and Communications (ICCS)*. Ghaziabad, India. 2024. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCS62048.2024.10830442>.

[11] Doerr M. CRMdig: a generic digital provenance model for scientific observation. *Proceedings of TAPP'11: 3rd USENIX workshop on the theory and practice of provenance, Heraklion*. 2011. P. 1–5. URL: https://www.academia.edu/111029237/CRMdig_A_Generic_Digital_Provenance_Model_for_Scientific_Observation (дата звернення: 19.06.2025).

[12] Eyadah H.T.A., Odaibat A.A.A Forward-Looking Vision to Employ Artificial Intelligence to Preserve Cultural Heritage. *Humanities and Social Sciences*. 2024. № 12(5). P. 109–114. DOI: <https://doi.org/10.11648/hss.20241205.12>

[13] Gaber J., Youssef S., Fathalla Karma. The role of artificial intelligence and machine learning in preserving cultural heritage and art works via virtual restoration. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2023. № 1. P. 185–190. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-185-2023>.

[14] Gatla T. A Next-Generation Device Utilizing Artificial Intelligence For Detecting Heart Rate Variability And Stress Management. *International journal of creative research thoughts*. 2024. № 12. P. 253–261. URL: https://www.researchgate.net/publication/380732439_A_Next-Generation_Device_Utilizing_Artificial_Intelligence_For_Detecting_Heart_Rate_Variability_And_Stress_Management (дата звернення: 19.06.2025).

[15] Ghaith K. AI Integration in Cultural Heritage Conservation – Ethical Considerations and the Human Imperative. Submission to International. *Journal of Emerging and Disruptive Innovation in Education: VISIONARIUM*. 2024. Vol. 2. Iss.1. Art. 6. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.62608/2831-3550.1022>.

[16] Cultural heritage preservation in the digital age, harnessing artificial intelligence for the future:

a bibliometric analysis / Harisanty D., Obille K. L. B., Anna N. E. V., Purwanti E., Retrialisca F. *Digital Library Perspectives*. 2024. Vol. 40, No. 4. P. 609–630. DOI: <https://doi.org/10.1108/DLP-01-2024-0018>.

[17] Highlights. RealityScan. URL: <https://www.realityscan.com/en-US/features> (дата звернення: 20.07.2025)

[18] Hong Lu. Digital Documentation of the Reconstruction of Notre Dame De Paris. *International Journal of Computer Science and Information Technology*. 2024. № 2. P. 492–503. DOI: <https://doi.org/10.62051/ijcsit.v2n1.52>.

[19] Izzettin Kutlu, Asena Soyluk. A comparative approach to using photogrammetry in the structural analysis of historical buildings. *Ain Shams Engineering Journal*. 2024. Vol. 15, Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102298>.

[20] La Mauro B., Ferro A., Ventimiglia G. A scan-to-bim process for the monitoring and conservation of the architectural heritage: integration of thematic information in a hbim model. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2023. Vol. XLVIII-M-2-2023. P. 549–556. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-549-2023>.

[21] Laadrieu J., Follier-Hanselmann J., Schotté G., Poupard N. La reconstitution 3D du chevet de Cluny III : clôture de chœur, stalles, pavement, peintures murales et vitraux. *BUCEMA*. 2011. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.4000/cem.11962>

[22] Laine V., Mizginov V., Grodzitkiy L., Fomin N. Dense 3D object reconstruction using structured-light scanner and deep learning. ISPRS – International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. XLIII-B2-2020. P. 777–783. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-777-2020>.

[23] Lalluri V. A pioneering approach to forensic insights: Utilization of AI for cybersecurity incident investigations. *IJRAR International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*. 2016. Vol. 3, Issue 3. P. 919–922. URL: <http://www.ijrar.org/papers/IJRAR19D5170.pdf> (дата звернення: 19.06.2025).

[24] Lanroczyński P., Große P. Ontology for Scientific Documentation of source-based 3D reconstruction of architecture. *Long Abstracts of the International Conference on Cultural Heritage and New Technologies*. Vienna, 2020. P. 1–2. URL: <https://chnt.at/wp-content/uploads/OntSciDoc3D--Ontology-for-Scientific-Documentation-of-source-based-3D-reconstruction-of-architecture.pdf> (дата звернення: 19.06.2025).

[25] Lampropoulos G. Combining Artificial Intelligence with Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Current Trends and Future Perspectives. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2025. № 9(2). P. 11–23. DOI: <https://doi.org/10.3390/mti9020011>.

[26] Lee B.C.G. Human-AI interaction for exploratory search & recommender systems with application to cultural heritage Thesis (Ph.D.). University of Washington, 2023. URL: [https://www.proquest.com/dissertations-theses/human-ai-interaction-exploratory-](https://www.proquest.com/dissertations-theses/human-ai-interaction-exploratory-search-amp/docview/2838582962/se-2)

[search-amp/docview/2838582962/se-2](https://www.proquest.com/dissertations-theses/human-ai-interaction-exploratory-search-amp/docview/2838582962/se-2) (дата звернення: 19.06.2025).

[27] Li Y., Chen H., Yu P., Yang L. A Review of Artificial Intelligence in Enhancing Architectural Design Efficiency. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. P. 1476. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15031476>.

[28] Madhushree Prasad Prabhu. Revolutionizing Heritage Preservation with AI: 3D Reconstruction of Ancient Monuments. *International Journal of Science Engineering and Technology*. 2025. № 13. P. 1–6. URL: https://www.researchgate.net/publication/392912479_Revolutionizing_Heritage_Preservation_with_AI_3D_Reconstruction_of_Ancient_Monuments(дата звернення: 19.06.2025).

[29] Mogre S.C., Nikam J.S., Damani P., Banik A. Generative AI for Cultural Heritage Preservation Using AR and Data Science. *International Conference on Machine Learning and Autonomous Systems (ICMLAS)*. Prawet, Thailand, 2025. P. 106–1073. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMLAS64557.2025.10968619>.

[30] Macher H., Landes T., Grussenmeyer P., Alby E. Semi-automatic Segmentation and Modelling from Point Clouds towards Historical Building Information Modelling. Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection. *EuroMed. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Cham. 2014. Vol. 8740. P. 111–120. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13695-0_11.

[31] Mutlu A., Güneş A., Taş A. The Role of Artificial Intelligence in Architecture: The Case Studies of Star Architects. *Rupkatha Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities*. 2025. Vol. 17. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.21659/rupkatha.v17n1.04>.

[32] Münster S. Handbook of Digital 3D Reconstruction of Historical Architecture. *Springer Cham*. 2024. 334 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-43363-4>.

[33] Artificial Intelligence And Cultural Heritage: Design And Assessment of An Ethical Framework / Pansoni S., Tiribelli S., Paolanti M., Stefano F.D., Frontoni E., Malinverni E.S., Giovanola B. Gottingen: Copernicus GmbH, 2023. Vol. XLVIII-M-2-2023. P. 1149–1155. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1149-2023>

[34] Paul R., Stephen T., Andy W. Rediscovering and modernising the digital Old Minster of Winchester. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2016. Vol. 3, Issue 2. P. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2016.04.001>.

[35] Pletinckx D. How to make sustainable visualizations of the past: An EPOCH common infrastructure tool for interpretation management. *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*. Routledge, 2012. 40 p.

[36] Advances in the Restoration of Buildings with LIDAR Technology and 3D Reconstruction: Forged and Vaults of the Refectory of Santo Domingo de Orihuela (16th Century) / Saura-Gómez P., Spairani B., Huesca-Tortosa J., Berrio S., Rizo-Maestre C. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. P. 8541. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11188541>.

[37] Shema A., Abdulmalik H. Artificial Intelligence (AI) In Architecture and Design. *AI-driven architecture: Pioneering the digital frontier*. Alanya University. 2024. P. 145–186. DOI: <https://doi.org/10.38027/ai-driven-7>.

[38] Zhang Y., Yuen K. Review of artificial intelligence-based bridge damage detection. *Advances in Mechanical Engineering*. 2022. № 14(9). P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1177/16878132221122770>

[39] Yu Q., Malaeb J., Ma W. Architectural Facade Recognition and Generation through Generative Adversarial Networks. *International Conference on Big Data & Artificial Intelligence & Software Engineering. ICBASE*. 2020. № 10. P. 310–316. DOI: <https://doi.org/10.1109/icbase51474.2020.00072>.

[40] Zwierzycki M. On AI Adoption Issues in Architectural Design - Identifying the issues based on an extensive literature review. *Conference: eCAADe 2020: Anthropologic : Architecture and Fabrication in the cognitive age*. 2020. № 10. P. 515–524. DOI: <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2020.1.515>.

REFERENCES

[1] Fomenko, O.O., & Danylov, S.M. (2023). Pryntsypy formuvannya informatsiynykh BIM-paketiv «prohramnoho kompleksu modelyuvannya mista yak dynamichnoyi systemy» [Principles of forming information BIM packages of the «software complex for modeling the city as a dynamic system»]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, 6(018), 125–135. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.125.1015> [in Ukrainian].

[2] Fomenko, O.O., & Danylov, S.M. (2025). Symbioz arkhitektury i navkolyshn'oho seredovyshcha: problemy i kontseptsii [Symbiosis of architecture and the environment: problems and concepts]. *Naukovyy visnyk budivnytstva, KHNUMH im. O.M. Beketova*, 112, 122–130. DOI: <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2025.112.1.15> [in Ukrainian].

[3] Shevchuk, T.V. & Tarasyuk, M.Yu. (2025). Rol shtuchnoho intelektu u zberezhenni istorichnykh pam'yatok [The role of artificial intelligence in the preservation of historical monuments]. *Problems Of World History*, 30, 183–190. DOI: <https://doi.org/10.46869/2707-6776-2025-30-10> [in Ukrainian].

[4] Belhi, A. (2020). Machine Learning and Digital Heritage: The CEPROQHA Project Perspective. *Fourth International Congress on Information and Communication Technology. Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Singapore*, 1027, 363–374. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-32-9343-4_29 [in English].

[5] Beridse, N. (2025). Artificial Intelligence in Cultural Preservation: Reviving Heritage through Deep Learning and Virtual Reconstruction. *IJARIE*, 11, 636–642. Retrieved from: https://ijarie.com/AdminUploadPdf/Artificial_Intelligence_in_Cultural_Preservation__Reviving_Heritage_through_Deep_Learning_and_Virtual_Reconstruction_ijarie26458.pdf [in English].

[6] Cajic, E. (2022). Application of Artificial Intelligence in Cultural Heritage. *The Fourth International Scientific Conference The Importance of Media Interpretation for the Promotion of Cultural Heritage*, 4, 333–352. DOI: https://doi.org/10.18485/AKADEMAC_NSK.2023.4.CH14 [in English]

[7] Campbell, D. & Stanley, J. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Boston: Houghton Mifflin Company, 88 p. [in English].

[8] Ceylan, S. (2021). Artificial Intelligence in Architecture: An Educational Perspective. In *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Supported Education. CSEDU; SciTePress*, 1, 100–107. DOI: <https://doi.org/10.5220/0010444501000107> [in English].

[9] Das, Dr-Bishwa & Maringanti, Hima & Dash, Niladri (2022). Role of Artificial Intelligence in Preservation of Culture and Heritage. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/362253484_Role_of_Artificial_Intelligence_in_Preservation_of_Culture_and_Heritage (date of application: 06/19/2025) [in English].

[10] Dahiya, V. K. (2024). Exploring the Role of Artificial Intelligence in Predictive Analytics for Financial Markets. *International Conference on Computing, Sciences and Communications (ICCS)*. Ghaziabad, India, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCS62048.2024.10830442> [in English].

[11] Doerr, M. (2011). CRMdig: a generic digital provenance model for scientific observation. In: *Proceedings of TaPP'11: 3rd USENIX workshop on the theory and practice of provenance. Heraklion*, 1–5. Retrieved from: https://www.academia.edu/111029237/CRMdig_A_Generic_Digital_Provenance_Model_for_Scientific_Observation (date of application: 06/19/2025) [in English].

[12] Eyadah, H.T.A., & Odaibat, A.A. (2024). A Forward-Looking Vision to Employ Artificial Intelligence to Preserve Cultural Heritage. *Humanities and Social Sciences*, 12(5), 109–114. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.hss.20241205.12> [in English].

[13] Gaber, J. & Youssef, S. & Fathalla, Karma. (2023). The role of artificial intelligence and machine learning in preserving cultural heritage and art works via virtual restoration. *ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. X-1/W1-2023, 185–190. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-185-2023> [in English].

[14] Gatla, Teja (2024). A Next-Generation Device Utilizing Artificial Intelligence For Detecting Heart Rate Variability And Stress Management. *International journal of creative research thoughts*, 12, 253–261. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/380732439_A_Next-Generation_Device_Utilizing_Artificial_Intelligence_For_Detecting_Heart_Rate_Variability_And_Stress_Management (date of application: 06/19/2025) [in English].

[15] Ghaith, K. (2024). AI Integration in Cultural Heritage Conservation –Ethical Considerations and the Human Imperative. *Submission to International Journal of Emerging and Disruptive Innovation in Education: VISIONARIUM*, 2, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.62608/2831-3550.1022> [in English].

[16] Harisanty, D., & Obille, K.L.B., & Anna, N.E.V., & Purwanti, E. & Retrialisca, F. (2024). Cultural heritage preservation in the digital age, harnessing artificial intelligence for the future: a bibliometric analysis. *Digital Library Perspectives*, 40, 609–630. DOI: <https://doi.org/10.1108/DLP-01-2024-0018> [in English].

[17] Hong, Lu. (2024). Digital Documentation of the Reconstruction of Notre Dame De Paris. *International Journal of Computer Science and Information Technology*, 2, 492–503. DOI: <https://doi.org/10.62051/ijcsit.v2n1.52> [in English].

- [18] Features. RealityScan. Retrieved from: <https://www.realityscan.com/en-US/features> (date of application: 06/19/2025) [in English].
- [19] Izzettin, Kutlu, & Asena, Soyluk (2024). A comparative approach to using photogrammetry in the structural analysis of historical buildings. *Ain Shams Engineering Journal*, 15, 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102298> [in English].
- [20] La Brutto, Mauro & Ferro, Alessandra, & Ventimiglia, Gaspere (2023). A scan-to-bim process for the monitoring and conservation of the architectural heritage: integration of thematic information in a hbim model. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLVIII-M-2-2023, 549–556. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-549-2023> [in English].
- [21] Laadrieu, Jérémie & Follier-Hanselmann, Juliette, Guillaume, Schotté, Nicolas Poupart (2011). La reconstitution 3D du chevet de Cluny III : clôture de chœur, stalles, pavement, peintures murales et vitraux. *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre. BUCEMA*, 1–18. DOI: <https://doi.org/10.4000/cem.11962> [in English].
- [22] Laine, J., Mizginov, V., Grodzitkiy, L., Fomin, N. & Knyaz, V. (2020). Dense 3D object reconstruction using structured-light scanner and deep learning. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2020, 777–783. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-777-2020> [in English].
- [23] Lalluri, V. (2016). A pioneering approach to forensic insights: Utilization of AI for cybersecurity incident investigations. *IJRAR International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, 3, 919–922. Retrieved from: <http://www.ijrar.org/papers/IJRAR19D5170.pdf> (date of application: 06/19/2025) [in English].
- [24] Lanroczyński, P., & Große, P. (2020). Ontology for Scientific Documentation of source-based 3D reconstruction of architecture. Long Abstracts of the International Conference on Cultural Heritage and New Technologies. Vienna, 1–2. Retrieved from: <https://chnt.at/wp-content/uploads/OntSciDoc3D--Ontology-for-Scientific-Documentation-of-source-based-3D-reconstruction-of-architecture.pdf>. (date of application: 06/19/2025) [in English].
- [25] Lampropoulos, G. (2025). Combining Artificial Intelligence with Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Current Trends and Future Perspectives. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(2), 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/mti9020011> [in English].
- [26] Lee, B.C.G. (2023). Human-AI interaction for exploratory search & recommender systems with application to cultural heritage Thesis (Ph.D.) *University of Washington*. Retrieved from: <https://www.proquest.com/dissertations-theses/human-ai-interaction-exploratory-search-amp/docview/2838582962/se-2> (date of application: 06/19/2025) [in English].
- [27] Li, Yangluxi & Chen, Huishu & Yu, Peijun & Yang, Li. (2025). A Review of Artificial Intelligence in Enhancing Architectural Design Efficiency. *Applied Sciences*, 15, 1476. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15031476> [in English].
- [28] Madhushree, & Prasad, Prabhu (2025). Revolutionizing Heritage Preservation with AI: 3D Reconstruction of Ancient Monuments. *International Journal of Science Engineering and Technology*, 13, 1–6. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/392912479_Revolutionizing_Heritage_Preservation_with_AI_3D_Reconstruction_of_Ancient_Monuments (date of application: 06/19/2025) [in English].
- [29] Mogre, S.C., Nikam, J.S., Damani, P., Banik, A. (2025). Generative AI for Cultural Heritage Preservation Using AR and Data Science. *International Conference on Machine Learning and Autonomous Systems (ICMLAS)*. Prawet, Thailand, 1068–1073. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMLAS64557.2025.10968619> [in English].
- [30] Macher, H., & Landes, T., & Grussenmeyer, P., & Alby, E. (2014). Semi-automatic Segmentation and Modelling from Point Clouds towards Historical Building Information Modelling. *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection. EuroMed. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham*, 8740, 111–120. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13695-0_11 [in English].
- [31] Mutlu, Aving, Güneş, & Ayci, Hilal & Taş, Aslı (2025). The Role of Artificial Intelligence in Architecture: The Case Studies of Star Architects. *Rupkatha Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities*, 17, 1–23. DOI: <https://doi.org/10.21659/rupkatha.v17n1.04> [in English].
- [32] Münster, Sander (2024). Handbook of Digital 3D Reconstruction of Historical Architecture. *Springer Cham*. 334 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-43363-4> [in English].
- [33] Pansoni, S., & Tiribelli, S., & Paolanti, M., Stefano, F. D., & Frontoni, E., & Malinverni, E. S., & Giovanola, B. (2023). Artificial Intelligence And Cultural Heritage: Design And Assessment of An Ethical Framework. *Gottingen: Copernicus GmbH*, XLVIII-M-2-2023, 1149–1155. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1149-2023> [in English].
- [34] Paul Reilly, & Stephen Todd, & Andy Walter (2016). Rediscovering and modernising the digital Old Minster of Winchester. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 3, 33–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2016.04.001> [in English].
- [35] Pletinckx, D. (2012). How to make sustainable visualizations of the past: An EPOCH common infrastructure tool for interpretation management. *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*. Routledge. 40 p. [in English].
- [36] Saura-Gómez, Pascual & Spairani Berrio, Yolanda & Huesca-Tortosa, Jose & Berrio, Silvia & Rizo-Maestre, Carlos (2021). Advances in the Restoration of Buildings with LIDAR Technology and 3D Reconstruction: Forged and Vaults of the Refectory of Santo Domingo de Orihuela (16th Century). *Applied Sciences*, 11, 8541. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11188541> [in English].
- [37] Shema, Abdulsalam & Abdulmalik, Halima. (2024). Artificial Intelligence (AI) In Architecture and Design. *AI-driven architecture: Pioneering the digital frontier. Alanya University*, 145–186. DOI: <https://doi.org/10.38027/ai-driven-7> [in English].

[38] Zhang, Y., & Yuen, K.V. (2022). Review of artificial intelligence-based bridge damage detection. *Advances in Mechanical Engineering*, 14(9), 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1177/16878132221122770> [in English].

[39] Yu, Qiu & Malaeb, Jamal & Ma, Wenjun (2020). Architectural Facade Recognition and Generation through Generative Adversarial Networks. *ICBASE*, 10, 310–316.

DOI: <https://doi.org/10.1109/icbase51474.2020.00072> [in English].

[40] Zwierzycki, Mateusz (2020). On AI Adoption Issues in Architectural Design. *Identifying the issues based on an extensive literature review*, 515–524. DOI: <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2020.1.515> [in English].

ABSTRACT

Balabanov I. The role of artificial intelligence in the preservation and restoration of the architectural heritage of Ukraine

Traditional methods of restoration of architectural monuments often include physical interventions that may not accurately recreate the original structure of the object, which can lead to the loss of historical integrity. There are many reasons for such distortions, the main ones are traditionally considered to be the following: incorrect analysis of the object, errors in the design part of the reconstruction, errors in the choice of restoration technologies.

Purpose. *To identify a range of scientific and practical areas focused on the use of artificial intelligence tools to preserve the architectural heritage of Ukraine.*

Methodology. *Based on the developments of the scientific architectural school of the Kharkiv National University of Urban Economics named after O.M. Beketov, artificial intelligence tools in the restoration and preservation of architectural monuments are divided into three main blocks - analysis, modeling and design. For each block, an analysis of the principles of using AI tools was conducted.*

Results. *Over the past decades, artificial intelligence (AI) has become a significant tool in the field of restoration of architectural heritage. Dozens of specialized software products that actively use AI make it possible to simplify and accelerate the analysis of architectural objects, increase the accuracy of their restoration, minimize the risks of the human factor and critical errors. AI transforms traditional restoration methods, offering new opportunities for the analysis, documentation and restoration of historical objects. One of the most transformative innovations in this field has been 3D reconstruction of ancient monuments, which can not only digitally restore complex details of heritage objects, but also provide valuable information about their historical significance.*

Scientific novelty. *In the national scientific tradition, the problems arising in such areas of AI use as data collection, the complexity of the objects under study and the ethical aspects of preserving cultural heritage have not been sufficiently studied. The authors of the study identified and summarized possible prospects for using artificial intelligence in the preservation of architectural heritage.*

Practical relevance. *This research aims to identify and capture the revolutionary potential of AI in heritage conservation, ensuring that cultural and architectural monuments are not only preserved, but can also be restored with previously unattainable accuracy.*

Keywords: *artificial intelligence, architecture, 3D modeling, reconstruction, heritage.*

AUTHOR'S NOTE:

Balabanov Igor, Postgraduate Student at the Department of Innovative Technologies in Architectural Environment Design, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine, e-mail: Ihor.Balabanov@kname.edu.ua, orcid: 0009-0005-6460-0405.

Стаття подана до редакції: 04.08.2025.

Стаття прийнята до опублікування: 17.09.2025.

Стаття опублікована: 20.11.2025.