

Н.С. Вергунова, М.Ю. Блінова

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ІМЕРСИВНОГО ДИЗАЙНУ ПРИ ФОРМУВАННІ АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА

У статті розглянуто концепції щодо розуміння та використання штучного інтелекту та імерсивного дизайну при формуванні архітектурних просторів. Завдяки аналізу сучасних досліджень, що окреслюють можливості алгоритмів штучного інтелекту та технологій імерсивного дизайну, було відокремлено та охарактеризовано тенденції, що мають найбільший потенціал для подальшого розвитку архітектурної професії.

Ключові слова: штучний інтелект, імерсивний дизайн, архітектурне середовище.

Постановка проблеми

Повсюдне поширення цифрових технологій стимулює перетворення в архітектурі та дизайні міського середовища. Це сприяє і постійному розвитку використовуваного інструментарію проєктантів: від ескізів і двовимірних креслень до створення передових інструментів при формуванні архітектурних просторів, призначених для конкретних рішень. Сучасні архітектори часто застосовують передові обчислювальні системи для створення, контролю та видозміни складних форм, однак більшість доступних цифрових інструментів обмежені заздалегідь заданими командами і засновані на ієрархічному та майже лінійному підході в контексті проєктного процесу. Вузко-спрямований набір інструментів, протиставлений складному архітектурному задуму, спонукає проєктантів створювати власні алгоритми, що ґрунтуються на досягненнях у різних наукових галузях.

Так, все більше уваги приділяється новій методології проєктування, що увібрала останні досягнення неієрархічного способу формоутворення, заснованому на процесі навчання комп'ютерів або машин, а саме концепціях штучного інтелекту (ШІ) та імерсивного дизайну, в основі якого використання віртуальної та інших видів реальності.

І хоча дослідження, що окреслюють використання нових методів моделювання архітектурного середовища, постійно проводяться в різних країнах світу, а результати публікуються у фахових міжнародних виданнях, все ще простежується роз'єднаність та розрізненість цих публікацій, відсутність злагодженої системності та комплексного розкриття цієї проєктно-наукової тематики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Про важливість концепції ШІ можна судити з того, що багато країн світу, як-от Великобританія, Франція, Німеччина, Фінляндія, Шотландія, Китай,

Японія та Індія розробляють національні стратегії регулювання ролі штучного інтелекту в державних установах і службах. Для розвитку міста Нью-Йорк опубліковано офіційну стратегію щодо штучного інтелекту на 2021 рік [1].

Незважаючи на більш ніж піввікову історію, ШІ в архітектурі все ще знаходиться на стадії експериментального розвитку з активним дослідженням його потенціалу. Використання ШІ в концептуальних дослідженнях в архітектурі, при вивченні як зовнішніх характеристик будівлі та її формоутворення, так і внутрішньої організації та планування поверхів представлено в роботі М. Лус Кастро Пеня (M. Luz Castro Pena) та Адріана Карбаллала (Adrian Carballal) [2]. Юдзі Йошімура (Yuji Yoshimura) та Чжоутун Ван (Zhoutong Wang) розглядають концепт глибокого навчання (Deep learning), що дозволяє ШІ розпізнавати та систематизувати подібності між архітектурними проєктами на основі набору зображень [3]. Наочному інструментарію ШІ, спрямованому на оптимізацію форми будівлі з урахуванням доцільних теплових характеристик, і, як результат, відповідному проєктному рішенню присвячено роботу Спірідона Ампанавоса (Spyridon Ampanavos) та Алі Малкаві (Ali Malkawi) [4]. Хао Чжен (Hao Zheng) та Філіп Ф. Юань (Philip F. Yuan) створили та представили алгоритм для роботи штучної нейронної мережі, що генерує тривимірне представлення форми архітектурного об'єкта у векторному форматі на основі даних про будівлі, що вже існують, або із задаванням певних параметрів [5].

Імерсивність як засіб сприйняття, що створює ефект занурення у штучно створене або віртуальне середовище (Virtual reality – VR), також знаходить відображення в архітектурній проєктній діяльності. Серед сучасних досліджень щодо використання технологій імерсивного дизайну, зокрема віртуальної реальності, на різних етапах процесу архітектурного проєктування слід відзначити роботи Астеріоса

Агкатідіса (Asterios Agkathidis) та Мохаммеда Фарадж Аль-Сувайді (Mohammed Faraj Al-Suwaidi), що екстраполюють цей процес у галузь архітектурної освіти [6, 7]; дослідження Адама Дрогеюллера (Adam Drogemuller) та Хамідреза Сахаї (Hamidreza Sakhaei), що виявляють нову термінологічну базу сучасного архітектурного імерсивного моделювання [8]; роботу Джессі Рафейро (Jesse Rafeiro), Ана Томе (Ana Tomé) та Марії Назаріо (Maria Nazário), що впроваджують імерсивні технології для збереження архітектурної спадщини [9].

Мета та завдання статті

Мета дослідження полягає у виявленні основних тенденцій застосування штучного інтелекту та імерсивного дизайну при формуванні архітектурного середовища. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розглянути наявні концепції щодо розуміння ШІ та імерсивного дизайну як додатку до архітектурної діяльності;
- на основі сучасних досліджень про застосування штучного інтелекту та імерсивного дизайну при формуванні архітектурного середовища відокремити та охарактеризувати відповідні тенденції, що мають найбільший потенціал для подальшого розвитку архітектурної професії.

Виклад основного матеріалу

Впровадження ШІ в архітектурне проектування відкриває безліч можливостей для застосування, підвищуючи ефективність у багатьох аспектах, починаючи з розробки початкової концепції, будівництва та закінчуючи оцінкою стану об'єкта після введення в експлуатацію. Вже на етапі концептуальної розробки майбутнього архітектурного об'єкта алгоритми ШІ знаходять все більш активне застосування в підході генеративного проектування (Generative design), що орієнтований на створення різноманітних варіацій проектного рішення [10, 11]. Оскільки генеративне проектування базується на вивченні численних проектних можливостей з урахуванням заздалегідь заданих параметрів і обмежень, використання ШІ у цьому контексті сприяє більш ретельному формуванню вихідних даних та умов і, як результат, отриманню більшої кількості життєздатних формотворчих пропозицій.

У такий спосіб архітектори можуть ефективно генерувати та оцінювати широкий спектр альтернативних варіантів проектних рішень, заощаджуючи час та ресурси на концептуальній стадії роботи. Алгоритми генеративного проектування все більше інтегруються у відповідне програмне забезпечення та використовують методи машинного навчання для аналізу даних та моделей реальних конструкцій. Тобто при генеруванні проектних варіацій врахову-

ється не лише введенні проектантом дані, але і результати схожих за параметрами архітектурних об'єктів. Такі можливості закладено в Generative design tool від американської компанії «Autodesk», що враховує наявний проектний досвід і може охоплювати ретельний аналіз сотні або навіть тисячі архітектурних варіантів для вирішення поставленого дослідницького завдання [12].

Зважаючи на сучасний акцент на сталому дизайні (Sustainable design), можливості ШІ роблять значний внесок в оптимізацію конструкцій за різними параметрами, зокрема її енергоефективністю та стабільністю. Для цього моделюється симуляція подальшого існування архітектурного об'єкта та прогнозується його доцільність згідно з обраними параметрами [13].

Відповідні алгоритми ШІ можуть аналізувати складні структурні моделі, що сприяє оптимізації у використанні матеріалів, розподілу навантаження та досягненню загальної цілісності конструкції архітектурного об'єкта. Цьому слугує використання ШІ для інтеграції параметричного проектування (Parametric design) в архітектуру [14]. Такий підхід передбачає використання алгоритмів створення конструкцій, що реагують на зміну параметрів. Архітектори можуть використовувати інструменти параметричного проектування для створення адаптивних конструкцій, що реагують на фактори довкілля, поведінку користувачів та інші контекстні змінні, наприклад, динамічний фасад будівлі, що регулює зовнішні «рухомі» елементи впродовж дня для максимізації природного освітлення і мінімізації припливу тепла [15].

Крім концептуальної стадії, застосування ШІ характерно і на етапах детального проектування та розробки документації [16]. Автоматизовані інструменти для формування креслень та іншої проектною документації, що працюють на основі алгоритмів ШІ, сприймають 3D-модель архітектурного об'єкта, «розуміючи» її, та генерують необхідні креслення, дозволяючи архітекторам зосередитися на більш творчих та складних аспектах проекту.

Використання ШІ майже на всіх етапах архітектурного проектування свідчить про його розвиток, причому тенденція у цьому разі простежується у зміні інструментарію проектанта, а саме програмного забезпечення. Поки що це здебільшого додаткові плагіни, тобто незалежно компільовані програмні модулі, що підключаються до основної програми та розширюють її можливості, проте в майбутньому може бути розглянута зміна коду самої програми, її повністю оновлена структура. У такий штучно інтелектуальній сутності ПЗ виступатиме не просто інструментом, керованим архітектором «від і до», а, імовірно, самостійним цифровим помічником і може розглядатися фактично повноправним учасником архітектурного проекту.

Вже сьогодні ІІІ відіграє важливу роль у розширенні можливостей інформаційного моделювання будівель (BIM) [17]. Так, у сформованому завдяки BIM-моделюванню цифровому представленні архітектурної споруди, що містить геометричну та просторову інформацію, а також дані про матеріали, компоненти та системи, що використовуються при будівництві, алгоритми ІІІ можуть виявляти конфлікти між складовими, допомагаючи архітекторам та інженерам вирішити проблеми до початку будівництва, а також сприяють автоматизації певних рутинних завдань щодо підрахунку кількості матеріалів і вирішенню інших питань.

Етап будівництва архітектурної споруди також відбувається із залученням ІІІ для підвищення ефективності та безпеки [15]. Робототехніка та автоматизація на основі ІІІ все частіше використовуються при геодезичній зйомці та земляних роботах, коли відповідно оснащені будівельні машини можуть орієнтуватися на майданчику, аналізувати довкілля та виконувати завдання з високою точністю, прискорюючи процес будівництва та знижуючи ризик нещасних випадків.

Слід зазначити, що у зв'язці про будівництво архітектурної споруди концепція ІІІ іде пліч-о-пліч з такою імерсивною технологією, як доповнена реальність (Augmented reality – AR). Так, програмні добавки AR, інтегровані з ІІІ, дозволяють архітекторам та будівельникам накладати креслення, 3D-моделі та інші дані в режимі реального часу на фізичний будівельний майданчик, що підвищує ефективність прийняття рішень на об'єкті за рахунок візуального відображення цифрової моделі у фізичному середовищі.

Отже, ще як одну тенденцію, що виокремлюється, можна зазначити симбіоз різноспрямованих, але потужних за своїм початком технологій, що, об'єднавшись, призводять до формування нових алгоритмів введення архітектурного проєкту: від концептуального пошуку до реалізації і введення в експлуатацію. Цей симбіоз може використовуватись для посилення переваг та нівелювання недоліків, забезпечуючи максимально ефективний робочий процес.

Технології імерсивного дизайну, а саме віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR) надають архітекторам нових можливостей для візуалізації, комунікації та вдосконалення своїх проєктів і без залучення ІІІ [18].

Безпосередньо віртуальна реальність передбачає повне занурення користувачів у цифрове середовище, дозволяючи архітекторам створювати реалістичні тривимірні зображення своїх проєктів та організовувати віртуальні прогулянки ними для отримання достовірного уявлення про масштаби, пропорції та просторові відносини.

Доцільність технології VR проявляється в

декількох аспектах, а саме для організації співпраці над архітектурним проєктом як в частині роботи із замовником, так і з іншими членами команди, коли замість фізичної робочої зустрічі проводиться віртуальна; для безпосередньої роботи архітектора над проєктом, коли моделювання, текстурування, освітлення та інші проєктні процеси відбуваються не на екрані монітору комп'ютера, а у віртуальному середовищі; для презентації фінального проєкту і занурення клієнтів у віртуальне представлення пропонуваного проєкту [15].

Сучасні платформи VR можуть охоплювати такі функції, як голосовий зв'язок, інструменти анування та синхронізовані оновлення архітектурного проєкту, що сприяє більш ефективному та динамічному процесу спільної роботи. Інструментарій VR дозволяє всебічно оцінити архітектурний проєкт, моделюючи умови освітлення, текстури матеріалів та фактори довкілля у віртуальному середовищі. У такий спосіб архітектор може зануритись у власний проєкт, експериментуючи з оздобленням і матеріалами та їх сприйняттям під впливом природного освітлення у різний час доби. Крім того, ознайомлення з проєктом у віртуальному середовищі допомагає виявити потенційні проблеми та доопрацювати деталі для досягнення оптимального результату. Використання презентаційного функціоналу VR з реалістичними можливостями рендерингу, що стирають межу між віртуальним та реальним світом, значно підвищує залучення і розуміння замовника, дозволяючи приймати більш виважені рішення.

На відміну від VR, тобто занурення в повністю віртуальне середовище, технологія доповненої реальності (AR) накладає цифрову інформацію на реальний фізичний світ за допомогою смарт-окулярів та інших приладів, оснащуючи архітекторів корисними інструментами для моделювання, візуалізації та управління проєктом [18]. Так, AR використовується при аналізі та візуалізації об'єктів шляхом накладання цифрових проєктних моделей на фізичні ділянки, поєднуючи віртуальне з реальним. Ця комбінована наочність допомагає оцінити, як пропонується об'ємно-просторова структура інтегрується з реальним оточенням з огляду на такі фактори, як топографія, навколишні будівлі та інфраструктура, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо подальшого розміщення та орієнтації архітектурної споруди. В частині архітектурного проєктування технологія AR забезпечує інтерактивний розгляд проєктних пропозицій архітектором і замовником в режимі реального часу, як результат, сприяє більш злагодженій роботі із затвердження етапів роботи. Візуалізація планів будівництва і їх накладання у фізичному середовищі за допомогою AR спрямовують будівельні процеси і забезпечують дотримання проєктних специфікацій. Ефективне

технічне обслуговування та управління архітектурним об'єктом також відбувається із залученням технології доповненої реальності у вигляді цифрових накладок на AR-пристрої з відображенням інструкцій з обслуговування та ремонту відповідного обладнання [15].

Перехід архітекторів від імерсивного віртуального середовища до розширених можливостей реального світу відбувається за допомогою технології змішаної реальності (Mixed reality – MR), що, відповідно до назви, поєднує можливості VR та AR, створюючи комплексний інструментарій для архітектурної діяльності. Так, детальне опрацювання на основі VR із використанням AR для візуалізації і реалізації у фізичному середовищі сприяє злагодженому та взаємопов'язаному процесу архітектурного проектування, стимулюючи творчість та ефективну співпрацю.

Отже, можна зазначити ще одну сучасну тенденцію при формуванні архітектурного середовища, що полягає у виведенні проектного процесу на новий рівень збалансованого поєднання віртуального та реального. Вкраплення цифрового інструментарію у фізичний простір і все більш гнучке та інтерактивне обладнання для оперування цим інструментарієм сприяє створенню цифрового зразка, максимального наближеного до майбутнього реального архітектурного об'єкта. Його цифрову структуру зі всіма варіаціями можна побачити зсередини та ззовні і проаналізувати з позицій фізичного середовища, змодельовати функціонування тих чи інших систем, виявити всі можливі проблемні питання і знайти ефективні рішення, фактично побачити майбутнє розвитку міського середовища на прикладі архітектурної споруди або навіть цілого комплексу.

Висновки і перспективи подальших досліджень

У науковій статті наведено та розглянуто концепції щодо розуміння ІІІ та імерсивного дизайну як додатку до архітектурної діяльності. Аналіз сучасних досліджень, що окреслюють можливості ІІІ та імерсивного дизайну при формуванні архітектурного середовища, дозволив виокремити тенденції, що знайдуть подальший розвиток та матимуть вплив на архітектурну професію.

Однією з таких тенденцій є удосконалення інструментарію архітектора, що наразі забезпечується додатковими плагінами до наявних програм або окремими сервісами, заснованими на алгоритмах ІІІ, проте в подальшому це може бути зміна коду самої програми з повністю оновленою структурою. У такому разі роль ПЗ з інструментарію, керованого архітектором, може перейти в іншу площину, наприклад, цифрового асистента, що частково або повністю керує власними обов'язками в роботі над архітектурним проектом.

Симбіоз різноспрямованих, але потужних тех-

нологій імерсивного дизайну (VR, AR, MR) та алгоритмів ІІІ є ще однією тенденцією у формуванні архітектурного середовища. Її також можна охарактеризувати як найбільш експериментальну та водночас динамічно розвинену з огляду на активний розвиток її складових.

Ще одна сучасна тенденція полягає у виведенні архітектурного проектування на новий рівень збалансованого поєднання віртуального та реального. Занурення користувача у віртуальну реальність для проектно-ї роботи і демонстрації відповідних результатів потрохи змінюється так, що 3D-модель архітектурної споруди і вся пов'язана з нею інформація перестає існувати виключно у цифровому середовищі і все більше проявляється у фізичному світі, зокрема на місці реалізації, а інтерактивне обладнання з гнучким функціоналом, що постійно розвивається, надає архітекторам більших можливостей для творчості.

Отримані результати можуть бути використані для переосмислення алгоритмів архітектурного проектування на сучасному етапі та виявлення корисних можливостей для удосконалення роботи.

Подальші дослідження плануються направити на більш детальний розгляд ПЗ, що охоплює алгоритми ІІІ та технології імерсивного дизайну для виявлення методів моделювання архітектурного середовища.

Література

1. NYC Office of Technology and Innovation [Електронний ресурс] // Official website «Office of Technology and Innovation». — Режим доступу: https://www.nyc.gov/assets/cto/downloads/ai-strategy/nyc_ai_strategy.pdf
2. Castro Pena, M. L., Carballal, A., Rodríguez-Fernández, N., Santos, I., & Romero, J. (2021). Artificial intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture. *Automation in Construction*, 124, 103550.
3. Yoshimura, Y., Cai, B., Wang, Z., & Ratti, C. (2019). Deep Learning Architect: Classification for Architectural Design Through the Eye of Artificial Intelligence. *Computational Urban Planning and Management for Smart Cities*, 14, 249-265.
4. Ampanavos, S., & Malkawi, A. (2022). Early-Phase Performance-Driven Design Using Generative Models. *Computer-Aided Architectural Design*, 1465, 87-106.
5. Zheng, H., & Yuan, P. F. (2021). A generative architectural and urban design method through artificial neural networks. *Building and Environment*, 205, 108178.
6. Al-Suwaidi, M. F., Agkathidis, A., Haidar, A., & Lombardi, D. (2023). Application of immersive technologies in the early design stage in architecture education - a systematic review. *Architecture and Planning Journal*, 28, Article 27.
7. Al-Suwaidi, M. F., Agkathidis, A., Haidar, A., & Lombardi, D. (2023). Immersive Technologies in Architectural Education: A Pedagogical Framework for Integrating Virtual Reality as the Main Design Tool in a Fully Virtualised Architectural Design Studio Environment. *Proceedings of the 41st Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 1, 89-98.
8. Drogemuller, A., Sakhaei, H., Cunningham, A., Yu, R., Gu, N., & Thomas, B. (2023). Envisioning Parametric Design: An Immersive Approach to Architectural Design and Review.

IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct, 10, 261-265.

9. Rafeiro, J., Tomé, A., & Nazário, M. (2024). Immersive Learning for Lost Architectural Heritage: Interweaving the Past and Present, Physical and Digital in the Monastery of Madre de Deus. *Sustainability*, 16, 1156.

10. Zhang, Z., Fort, J.M., & Mateu, L.G. (2023). Exploring the Potential of Artificial Intelligence as a Tool for Architectural Design: A Perception Study Using Gaudí's Works. *Buildings*, 13(7), 1863.

11. Azadi, S., & Nourian, P. (2021). A Modular Generative Design Framework for Mass-customization and Optimization in Architectural Design. In *39th eCAADe Conference*, 1, 285-294.

12. Generative design for Architecture, Engineering & Construction [Електронний ресурс] // Official website «Autodesk».

— Режим доступу: <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design/architecture-engineering-construction>

13. Ji, L.H. (2022). Application and Optimization of Artificial Intelligence Technology in Architectural Design. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, Article ID 5170068.

14. Na, S. (2021). Case Analysis and Applicability Review of Parametric Design in Landscape Architectural Design. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 49(2), 1-16.

15. Rane, N., Choudhary, S. P., & Rane, J. (2023). Leading-Edge Technologies for Architectural Design: A Comprehensive Review. *SSRN Electronic Journal*, 3(2), 12-48.

16. Gautam, V. K., Pande, C. B., Moharir, K. N., Varade, A.M., Rane, N.L., Egbueri, J.C., & Alshehri, F. (2023). Prediction of Sodium Hazard of Irrigation Purpose using Artificial Neural Network Modelling. *Sustainability*, 15(9), 7593.

17. Dounas, T., Lombardi, D., & Jabi, W. (2021). Framework for Decentralised Architectural Design BIM and Blockchain Integration. *International Journal of Architectural Computing*, 19(2), 157-173.

18. Shouman, B., Othman, A. A. E., & Marzouk, M. (2022). Enhancing Users Involvement in Architectural Design Using Mobile Augmented Reality. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(6), 2514-2534.

References

1. NYC Office of Technology and Innovation. Official website «Office of Technology and Innovation». https://www.nyc.gov/assets/cto/downloads/ai-strategy/nyc_ai_strategy.pdf

2. Castro Pena, M. L., Carballal, A., Rodríguez-Fernández, N., Santos, I., & Romero, J. (2021). Artificial intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture. *Automation in Construction*, 124, 103550.

3. Yoshimura, Y., Cai, B., Wang, Z., & Ratti, C. (2019). Deep Learning Architect: Classification for Architectural Design Through the Eye of Artificial Intelligence. *Computational Urban Planning and Management for Smart Cities*, 14, 249-265.

4. Ampanavos, S., & Malkawi, A. (2022). Early-Phase Performance-Driven Design Using Generative Models. *Computer-Aided Architectural Design*, 1465, 87-106.

5. Zheng, H., & Yuan, P. F. (2021). A generative architectural and urban design method through artificial neural networks. *Building and Environment*, 205, 108178.

6. Al-Suwaidi, M. F., Agkathidis, A., Haidar, A., & Lombardi, D. (2023). Application of immersive technologies in the early design stage in architecture education - a systematic review. *Architecture and Planning Journal*, 28, Article 27.

7. Al-Suwaidi, M. F., Agkathidis, A., Haidar, A., & Lombardi,

D. (2023). Immersive Technologies in Architectural Education: A Pedagogical Framework for Integrating Virtual Reality as the Main Design Tool in a Fully Virtualised Architectural Design Studio Environment. *Proceedings of the 41st Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 1, 89-98.

8. Drogemuller, A., Sakhaei, H., Cunningham, A., Yu, R., Gu, N., & Thomas, B. (2023). Envisioning Parametric Design: An Immersive Approach to Architectural Design and Review. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct*, 10, 261-265.

9. Rafeiro, J., Tomé, A., & Nazário, M. (2024). Immersive Learning for Lost Architectural Heritage: Interweaving the Past and Present, Physical and Digital in the Monastery of Madre de Deus. *Sustainability*, 16, 1156.

10. Zhang, Z., Fort, J.M., & Mateu, L.G. (2023). Exploring the Potential of Artificial Intelligence as a Tool for Architectural Design: A Perception Study Using Gaudí's Works. *Buildings*, 13(7), 1863.

11. Azadi, S., & Nourian, P. (2021). A Modular Generative Design Framework for Mass-customization and Optimization in Architectural Design. In *39th eCAADe Conference*, 1, 285-294.

12. Generative design for Architecture, Engineering & Construction. Official website «Autodesk». Retrieved from <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design/architecture-engineering-construction>

13. Ji, L.H. (2022). Application and Optimization of Artificial Intelligence Technology in Architectural Design. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, Article ID 5170068.

14. Na, S. (2021). Case Analysis and Applicability Review of Parametric Design in Landscape Architectural Design. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 49(2), 1-16.

15. Rane, N., Choudhary, S. P., & Rane, J. (2023). Leading-Edge Technologies for Architectural Design: A Comprehensive Review. *SSRN Electronic Journal*, 3(2), 12-48.

16. Gautam, V. K., Pande, C. B., Moharir, K. N., Varade, A.M., Rane, N.L., Egbueri, J.C., & Alshehri, F. (2023). Prediction of Sodium Hazard of Irrigation Purpose using Artificial Neural Network Modelling. *Sustainability*, 15(9), 7593.

17. Dounas, T., Lombardi, D., & Jabi, W. (2021). Framework for Decentralised Architectural Design BIM and Blockchain Integration. *International Journal of Architectural Computing*, 19(2), 157-173.

18. Shouman, B., Othman, A. A. E., & Marzouk, M. (2022). Enhancing Users Involvement in Architectural Design Using Mobile Augmented Reality. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(6), 2514-2534.

Рецензент: д-р арх., проф., завідувач кафедри урбаністики та містобудування С.М. Данилов, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ВЕРГУНОВА Наталія Сергіївна
кандидат мистецтвознавства, доцент, завідувач кафедри дизайну та 3D-моделювання
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – natalia.vergunova@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8470-7956>

Автор: БЛІНОВА Марія Юріївна

доктор архітектури, доцент, професор кафедри
інноваційних технологій у дизайні архітектурного
середовища

Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – mariia.blinova@kname.edu.ua

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0936-0494>

TRENDS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND IMMERSIVE DESIGN USE IN THE FORMATION OF ARCHITECTURAL ENVIRONMENT

N. Vergunova, M. Blinova

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

There is increasing attention to a new design methodology incorporating the latest achievements of a non-hierarchical way of forming based on the learning process of computers or machines, namely the concepts of artificial intelligence (AI) and immersive design, using virtual and other types of reality.

The study aims to reveal the necessity to identify the main trends of artificial intelligence and immersive design use in architectural environment formation. The results can contribute to rethinking architectural design algorithms at the present stage and identifying potential opportunities for improvement.

The paper describes the possibilities of AI and immersive design in architectural environment formation. Analysis of current research in this field has made it possible to identify trends that likely will continue to develop further and impact the architectural profession.

One of these trends is the improvement of the architect's toolkit, currently provided by additional plug-ins to existing programmes or separate services based on AI algorithms, but in the future, it may be a change in the programme code itself with a completely updated structure. In this case, the role of software from the architect-managed toolkit may shift to another plane, such as a digital assistant that partially or fully manages its responsibilities in working on an architectural project.

The symbiosis of multidirectional but powerful immersive design technologies (VR, AR, MR) and AI algorithms is another trend in architectural environment formation. It can also be characterised as the most experimental and, at the same time, dynamically progressing, given the active development of its components.

Another modern trend is to bring architectural design to a new level of a balanced combination of virtual and real. The immersion of the user in virtual reality for design work and demonstration of the relevant results is gradually changing as the 3D model of an architectural structure is increasingly manifested in the physical world, including at the implementation site, and interactive equipment with flexible and constantly evolving functionality provides architects with more opportunities for creativity.

Keywords: artificial intelligence, immersive design, architectural environment.