

DOI: 10.32347/2076-815X.2025.89.243-267

УДК 72.01

д.арх., професор **Фоменко О.О.**,
oksana.fomenko@kname.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0588-4186,**Балабанов І.В.**,
Ihor.Balabanov@kname.edu.ua, ORCID: 0009-0005-6460-0405,Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ФАКТОР РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНОЇ АРХІТЕКТУРИ

Сучасна архітектура - це високотехнологічна частина будівельної галузі з надзвичайно високою та жорсткою конкуренцією. У такій конкуренції організації, які ефективно використовують топові інновації, отримують максимум переваг. До верхнього ступеня архітектурно-будівельних інновацій відносяться програмні продукти, в яких використовуються засоби штучного інтелекту. Зі стрімким розвитком цифрових технологій та зростанням вимог до екологічності, функціональності та естетики будівель використання штучного інтелекту (ШІ) стає не просто трендом, а необхідністю. Архітектурна теорія та практика все частіше звертаються до штучного інтелекту як до інструменту, який може революціонізувати спосіб проектування, будівництва та управління об'єктами. На сьогоднішній день впроваджені і успішно використовуються технології в аналізі, моделюванні та проектуванні архітектурного середовища, які оптимізують процеси функціонування як міст так і окремих будівель. Великий блок програм присвячено енергозбереженню, ресурсозбереженню, оптимізації планувальних рішень і транспортних мереж, які допомагають удосконалити естетику будівель при одночасному підвищенні їх експлуатаційних характеристик. Однак, щоб отримати максимальну віддачу від ШІ, важливо не лише впроваджувати його в поточні процеси, а й систематизувати накопичені знання, створюючи підґрунтя для майбутніх інновацій. Тобто на сьогодні стає актуальним аналіз, класифікація та розподіл цих знань за певним видом кластерів. Дана стаття присвячена темі взаємозв'язку між видами діяльності архітектора і відповідними програмними продуктами, в яких використовується штучний інтелект.

Ключові слова: архітектурні спеціалізації; місто; програмні засоби; штучний інтелект; сталий розвиток.

Постановка проблеми.

Сучасна архітектура стоїть на порозі значних системних трансформацій. Суть очікуваних змін полягає в каскадному циклі криз, прогнозованих ще в 70-х роках минулого століття. Перенаселення, обмежений доступ до природних ресурсів, деградація екологічних систем, руйнування соціальних зв'язків та низка інших значущих факторів змушують архітекторів всього світу шукати нові рішення для адаптації архітектурної складової міст до нових викликів. Сталий розвиток більше не є модним трендом – це імператив, який вимагає переосмислення підходів до дизайну, матеріалів та технологій. Наразі як ніколи високі ризики «піррової перемоги» [1] у сталому розвитку територій. Це коли місто та прилеглі регіони потенційно можуть переробити всі свої підсистеми з урахуванням високих екологічних вимог, але, як наслідок, зіткнутися з ще більш гострими екологічними та соціально-економічними кризами.

Проблеми сталого розвитку міст та прилеглих до них регіонів настільки складні та багатовимірні, що для їх успішного вирішення потрібні великі мультидисциплінарні команди, які будуть налаштовані на тривалу та кропітку роботу. Архітектурну складову міста ми повинні бачити в сукупній динаміці життєвих циклів всіх його елементів. Уявити, яким чином зміни в різних міських підсистемах вплинуть на архітектурну складову. Прогнозувати обсяги витрат соціальних, техногенних і природних ресурсів. Побачити наслідки зниження доступу до цих ресурсів та оцінити перспективи досягнення глобальних цілей сталого розвитку системою міста в цілому. Складність ситуації посилюється тим фактом, що ми повинні перестати перекладати екологічний борг на наступні покоління та розпочати процеси його погашення з накопиченими відсотками [2].

Повертаючись до історичних паралелей, слід зазначити наступне: якщо ми не хочемо зсувної саморегуляції населення міст, то мусимо визнати, що час перерізання гордіїв вузлів безповоротно минув [3]. У цьому контексті штучний інтелект (ШІ) стає не просто інструментом оптимізації архітектурної складової міст, а ключовим фактором, що трансформує саму парадигму архітектурної творчості. Глибина проникнення штучного інтелекту в будівельну галузь надзвичайно широка - від алгоритмів, що прогнозують етапи життєвих циклів будівель, до роботизованих систем, що формують нові екосистеми, де екологічна відповідальність та інновації йдуть рука об руку [4].

Мета дослідження: Сформувати когнітивну карту уявлень про перспективи використання інструментів штучного інтелекту фахівцями різних галузей архітектурної діяльності у формуванні архітектури сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В архітектурній школі Харківського національного університету архітектури Міністерства архітектури імені О.М. Бекетова архітектурна діяльність традиційно розглядається з точки зору трьох її видів, а саме: аналіз, моделювання та проектування архітектурного середовища [5]. Такий підхід є дуже зручним для поділу та аналізу континууму публікацій, присвячених ШІ.

Штучний інтелект в аналізі архітектурної складової міст.

Штучний інтелект відкриває нові можливості для проектування міських просторів та інфраструктури. Аналіз великих даних та моделювання динамічних процесів функціонування архітектурної складової міст на основі штучного інтелекту дають змогу виявити найбільш ефективні рішення для розміщення житлових та комерційних об'єктів, автомагістралей та зелених насаджень [6]. Це сприяє створенню комфортного та сталого міського середовища, яке враховує потреби різних груп населення та мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище [7]. Штучний інтелект дозволяє оптимізувати енергоспоживання міста при одночасному збільшенні економічного зростання, в умовах посилення обмежень на викиди вуглецю [8]. В умовах депопуляції міст та обмеженого доступу до ресурсів аналіз екологічної та соціально-економічної складової будівельної галузі стає важливою ланкою в роботі архітекторів та урбаністів [9].

Штучний інтелект у моделюванні архітектурної складової міст.

Один з найбільш розвинених напрямків використання ШІ в моделюванні міського середовища пов'язаний з аналізом його форми і результуючого енергоспоживання [10]. Такі підходи дозволяють створювати двійники міст, чутливих до морфології розвитку та кліматичних особливостей регіонів, у щільній міській забудові [11]. Одним з перспективних напрямків є створення цифрових двійників міста і підключення до них самонавчальних систем для виявлення найбільш актуальних напрямків ресурсозбереження [12].

Штучний інтелект у проектуванні архітектурної складової міст.

В архітектурному проектуванні виділяють кілька потужних кластерів, що спеціалізуються на виконанні конкретних, рідше багатоцільових завдань [13]. Контент-аналіз виявив один з найбільших блоків статей, присвячених використанню штучного інтелекту для підвищення енергоефективності будівель протягом усього життєвого циклу [14].

Одним зі сталих напрямків розвитку практик проектування стала інтеграція програмного забезпечення з впровадженням ШІ в архітектурно-будівельну галузь для моделювання та формування алгоритмів оптимізації функціонування будівель [15]. Ця інтеграція має на меті прискорити зусилля щодо зменшення впливу галузі на навколишнє середовище. Згідно зі звітом про

глобальний стан будівель за 2020 рік, на архітектурну складову міст припадає 35% споживання енергії та 38% викидів CO₂ [16].

Наступним за величиною кластером застосувань ШІ в архітектурі сталого розвитку є оптимізація процесів проектування будівель і зниження ролі людського фактору [17]. Сучасні архітектурні програми на основі штучного інтелекту дозволяють аналізувати та моделювати різні сценарії використання матеріалів, енергосистем та конструкцій. Це дозволяє архітекторам проектувати будівлі з мінімальним негативним впливом на навколишнє середовище, знижувати витрати на енергоносії, зменшувати кількість відходів [18]. Наприклад, штучний інтелект може допомогти визначити найбільш ефективно розташування вікон і сонячних панелей для максимального використання сонячної енергії, а також вибрати матеріали з низьким вуглецевим слідом [19].

Методи дослідження.

Дослідження континууму публікацій про роль ШІ в розвитку архітектурних практик показало, що майже всі вони пов'язані з «Цілями сталого розвитку» [20]. Веб-сайт ISO [21] містить дані, що пов'язують цілі сталого розвитку та стандарти, які регулюють засоби їх досягнення. Ми з великою повагою ставимося до глибини та обсягу даних, наданих Міжнародною організацією зі стандартизації. З цієї причини запропонована ISO методика досягнення цілей сталого розвитку архітектурно-будівельною галуззю взята практично без змін.

При зборі, обробці та аналізі даних про роль інструментів ШІ у формуванні архітектури сталого розвитку використовувалися методи контент-аналізу [22]. Зокрема, платформа <https://chat.deepseek.com/> надала дуже значну допомогу в пошуку матеріалів за означеною вище тематикою. Враховуючи, що метою дослідження не був глибокий аналіз всього континууму публікацій, використання ШІ з відкритим вихідним кодом, для початкового збору та обробки інформації виявилось достатнім.

Для розподілу отриманої інформації по тематичним блокам у дослідженні використані методи кластерного аналізу в синтезі з методами контент-аналізу. [23] Розподіл здійснювався на основі статистичного підрахунку повторюваності ключових слів у текстах публікацій. Сформовані групи були повторно перевірені на зміст анотацій. Після цього було проведено порівняльний аналіз статей у групах.

Сформовані кластери дозволили сформувати морфологічні дерева архітектурних спеціалізацій та відповідних до них інструментів штучного інтелекту, після чого в ході дослідження було проведено укрупнення даних з метою спрощення пізнавальної карти уявлень про проблему дослідження.

Результати дослідження.

За останні десять років відбулася справжня революція у використанні штучного інтелекту (ШІ) в архітектурі. Алгоритми машинного навчання та технології нейронних мереж почали активно використовуватися для аналізу великих обсягів даних, що дозволяє оптимізувати проектні рішення та зменшити наслідки негативних впливів сучасних каскадних криз. Також ШІ став важливим інструментом для створення розумних проектів, які інтегрують у свою структуру елементи інтернет-технологій та життєзабезпечення на основі альтернативних джерел енергії.

Також важливим питанням є зростання інтересу до сталої архітектури та екологічних підходів. Штучний інтелект допомагає архітекторам аналізувати екологічні показники архітектурної складової міст та розробляти більш стійкі проекти, що не лише оптимізує принципи функціонування будівель, а й гармонізує їх із довкіллям. ШІ дозволяє архітекторам обробляти величезні обсяги даних, аналізувати їх та пропонувати оптимальні рішення. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть враховувати кліматичні умови, сейсмічну активність, енергоефективність та інші фактори, щоб запропонувати найбільш стійкі та економічно ефективні проекти. Це особливо важливо у сучасних умовах зміни клімату, коли кожен проект має бути максимально адаптований до навколишнього середовища.

Згідно з цілями, методами та гіпотезою дослідження в процесі проведеного аналізу першоджерел зібрано велику кількість прикладів використання ШІ у архітектурній творчості. Виконана робота спрямована на створення когнітивної карти уявлень про роль, місце та перспективи розвитку штучного інтелекту у архітектурній творчості. Завдяки поєднанню методів кластерного та контент аналізу виявлені програмні продукти розподілено по трьом великим кластерам, а саме: аналіз (Таблиця 1), моделювання (Таблиця 2), проектування (Таблиця 3).

Таблиця 1.

Програмні інструменти, що використовують ШІ в аналізі
архітектурної складової міст

№	Програма	Опис
1	2	3
1	ArcGIS CityEngine	На основі алгоритмів процедурної генерації створює 3D-моделі міст з урахуванням правил зонування, щільності забудови та транспортних вузлів. Інтеграція з ML дає можливість прогнозувати зростання населення та адаптувати до нього міські рамки [24].
2	UrbanFootprint 1.5	Аналізує землекористування, екологічні ризики та потреби в інфраструктурі, пропонуючи сценарії «розумного» ущільнення або деурбанізації [25].

1	2	3
3	Virtual Singapore	Цифрова 3D-модель Сінгапуру, яка використовує топографічні дані в режимі реального часу. Це цифровий двійник міста-держави та перший цифровий двійник країни. Virtual Singapore спільно очолюють Національний дослідницький фонд, Земельне управління Сінгапуру (SLA) та Державне технологічне агентство. Уряд Сінгапуру використовував рішення 3DEXPERIENCE City від Dassault Systèmes для створення цифрової моделі [26].
4	CityScope	CityScope — Це проект, який проводиться в групі City Science Массачусетського технологічного інституту. Вона включає в себе різноманітні фізичні та цифрові платформи, призначені для вирішення проблем просторового проектування та містобудування. Інструменти варіюються від моделювання, яке кількісно оцінює вплив руйнівних втручань у містах, до систем залучення громад. [27]
5	Aimsun Next	Моделює транспортні потоки та сценарії надзвичайних ситуацій, пропонуючи оптимізацію світлофорів та маршрутів громадського транспорту [28]
6	Streetmix	Генерує конфігурації пріоритетних вулиць і трафіку пішоходів і велосипедних доріжок, використовуючи дані про трафік і викиди [29]
7	Arches Heritage	Arches — Програмна платформа з відкритим вихідним кодом, до якої організації культурної спадщини можуть мати вільний доступ, щоб допомогти їм керувати своїми даними про культурну спадщину [30]
8	Autodesk Spacemaker	Інтуїтивно зрозуміле хмарне програмне забезпечення для спільної роботи на основі штучного інтелекту, яке дає змогу архітекторам, містобудівникам і забудовникам розробляти високоякісні пропозиції щодо ділянки [31]
9	ALICE (Intelligent Construction Platform)	Автоматизує вивчення сценаріїв проектування та управління будівництвом за допомогою штучного інтелекту, дозволяючи швидко знайти найбільш ефективний, економічно вигідний і найменш ризикований спосіб реалізації проекту [32]
10	Esri ArcGIS Urban	Інструмент 3D-моделювання міст з прогнозами зростання населення та екологічних ризиків на основі штучного інтелекту [33]

Таблиця 2.

Програмні засоби, що використовують ШІ у моделюванні архітектурної складової міст.

№	Програма	Опис
1	2	3
1	NVIDIA Omniverse	Створює цифрові двійники наземних масок / будівель для виконання їх автоматизованого порівняння з BIM-моделями [34]
2	Midjourney	Нейронна мережа для генерації зображень на основі текстових запитів стала інструментом, який призначає етапи концептуального проектування. Архітектори використовують його для візуалізації ідей, дослідження форм і швидкого створення альтернатив [35], [36].
3	Copilot	
4	DALL-E	

1	2	3
5	Stable Diffusion	Набір інструментів для перетворення тексту в зображення з високою роздільною здатністю. Розроблена Stability AI, програма використовує машинне навчання для інтерпретації слів і створення цифрових зображень, візерунків або дизайну [37], [38].
6	FLUX.1	
7	NVIDIA GauGAN2	Поєднує сегментаційне відображення, малювання і генерацію тексту в зображення в одній моделі, що робить його потужним інструментом для створення фотореалістичного мистецтва з поєднанням слів і малюнків [39].
8	FrankenGAN	Створює правдоподібні архітектурні елементи в невеликих міських районах [40]
9	DeepScope	Нова платформа для інтерактивної візуалізації міського дизайну в режимі реального часу та без налаштувань. Вона намагається замінити поширені практики міського дизайну підходом генеративної візуалізації, заснованим на машинному навчанні. Цей проект дозволяє створювати прототипи та візуалізації процесів міського проектування в режимі реального часу [41].
10	MasterplanGAN	Програма для інтелектуального рендерингу генеральних планів міст з використанням алгоритмів штучного інтелекту [42]
11	Adobe Photoshop Neural Filters	Нова робоча область у Photoshop із бібліотекою фільтрів, які зменшують складні робочі процеси до кількох кліків за допомогою машинного навчання на основі Adobe Sensei. Neural Filters — це інструмент, який дає змогу застосовувати неруйнівні фільтри відтворення та досліджувати творчі можливості за лічені секунди. Neural Filters допомагає покращувати зображення, створюючи нові контекстні пікселі, яких насправді немає в оригінальному зображенні [43].
12	Arkio	VR-інструмент з ПІ для спільного проектування у 3D-просторі. Дозволяє миттєво перетворювати ескізи на об'ємні моделі [44].

Відповідно до мети дослідження проаналізовано континуум публікацій, присвячених формуванню ядра професії «Архітектор» та суміжних спеціалізацій.

Таблиця 3.

Програмні засоби, що використовують ШІ у проектуванні архітектурної складової міст.

№	Програма	Опис
1	2	3
1	Cove.tool	Оптимізує робочі процеси завдяки розширеним можливостям автоматизації та штучного інтелекту. Ця платформа дозволяє проектним командам створювати розумніші, енергоефективніші та точніші моделі, тим самим прискорюючи реалізацію проекту та значно скорочуючи цикли проектування. Cove легко інтегрується з популярним програмним забезпеченням для дизайну, таким як Revit, SketchUp і Rhinoceros.

1	2	3
2	Autodesk Forma	Хмарне програмне забезпечення, яке пропонує потужні, але прості у використанні інструменти на основі штучного інтелекту для попереднього та схематичного проектування. Архітектори та дизайнери використовують Forma для: Налаштування геолокованого проекту із реальними контекстними даними та моделювання складних 3D-проектів у реальному часі. Використання автоматизованих розрахунків формотворчих конструкцій та аналіз впливу на навколишнє середовище в режимі реального часу для оптимізації забезпечення якості життя та сталого розвитку. Продовження процесу детального проектування завдяки плавному підключенню до Revit, Rhino та Dynamo [45]
3	House-GAN++	Мережа уточнення генеративного змагального планування для автоматизованого створення планів поверхів [46]
4	Building-GAN	Інструмент для проектування тривимірної геометрії будівлі [47]
5	CoGAN	Алгоритм створення оптимальної схеми проектного житла з використанням генеративних елементів проектування [48]
6	Autodesk Design and Make	Платформа включає інтегровані програмні рішення, підключені до хмари, які дозволяють користувачам проектувати, виготовляти та доставляти що завгодно, від нових будівель та інфраструктури до продуктів, медіа та розваг. Розробляйте та робіть платформи розблоковують дані та уніфікують робочі процеси проектів, дозволяючи компаніям досягати кращих і швидших результатів протягом усього життєвого циклу проекту [49].
7	TestFit	Генератор макетів сайтів на основі штучного інтелекту, який за лічені хвилини розраховує оптимальне розміщення будівель, парковок та зелених насаджень [50]
8	Нурар для Revit	Дозволяє імпортувати моделі Нурар безпосередньо в Autodesk Revit. За допомогою доповнення Нурар ви можете використовувати меблі, лінії сітки, простори та рівні вашого проекту як реальні BIM-об'єкти [51]
9	2050 Materials	Найбільша база даних екологічних будівельних матеріалів з оцифрованими даними про навколишнє середовище та здоров'я. Це дозволяє архітекторам проектувати та допрацьовувати деталі відповідно до надзвичайної кліматичної ситуації [52]
10	OpenSpace	AI аналіз 360-градусних фотографій будівельних майданчиків для контролю якості та виявлення відхилень від BIM-моделей [53]
11	BIMcollab ZOOM	Допомагає знаходити прогалини в інформації у вашому дизайні та перевіряти рішення за допомогою зв'язку в хмарі [54]

Спектр тем статей, обраних у наукометричній базі даних Scopus, дуже широкий: від проблем невідповідності архітектурної освіти професійним результатам [55] до дискусій про візуальну інформативність архітектури в

контексті архітектурної діяльності [56]. У результаті аналізу публікацій було визначено шість основних видів архітектурної діяльності: дизайн, проект, менеджмент, освіта, наука, педагогіка.

Також було визначено 27 архітектурних спеціалізацій, які розподілені за відповідними видами архітектурної діяльності.

У таблицях 1-3 узагальнено континуум програмних засобів з інтегрованими модулями штучного інтелекту.

Виконана робота дозволила систематизувати отримані дані за типом функцій, що виконуються програмами, та архітектурними спеціалізаціями в процесах професійної діяльності, які ці програми можуть використовувати. Отримані дані зведені в таблицю 4.

Таблиця 4.

Розподіл програмних засобів, що використовують ШІ по архітектурним спеціалізаціям та типам діяльності.

№	Тип діяльності	Спеціалізація	Групи функцій програмних засобів з ШІ		
			Аналіз	Моделювання	Проектування
1	Дизайн	Architectural designer. Архітектор-дизайнер.	Midjourney / Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1	Midjourney / Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1 / NVIDIA GauGAN2 / Adobe Photoshop Neural Filters / Building-GAN / CoGAN	Autodesk Forma / Building-GAN / CoGAN
		Interior designer. Інтер'єр дизайнерю	Midjourney / Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1 / NVIDIA GauGAN2	Midjourney / Copilot / DALL-E / NVIDIA GauGAN2 / Adobe Photoshop Neural Filters	Building-GAN / CoGAN
		Chief architect. Головний архітектор.	ALICE / Midjourney / Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1 / NVIDIA GauGAN2	ALICE / Midjourney / Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1 / NVIDIA GauGAN2 / Building-GAN / CoGAN	ALICE / Autodesk Forma / Building-GAN / CoGAN

		Building Designer Архітектор-проектувальник будинків	Midjourney / Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1	Midjourney / Copilot / DALL-E / NVIDIA GauGAN2 / Building-GAN / CoGAN	Autodesk Forma / Building-GAN / CoGAN
		Urban designer. Урбаніст.	Midjourney / Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1 / NVIDIA GauGAN2 / FrankenGAN	Virtual Singapore / CityScope / Streetmix / Midjourney / Copilot / DALL-E / NVIDIA GauGAN2 / FrankenGAN	Autodesk Forma
2	Проектування	Architectural Draftsman. Архітектурний кресляр.	NVIDIA Omniverse / NVIDIA GauGAN2 / Cove.tool / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN	NVIDIA Omniverse / NVIDIA GauGAN2 / Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN	NVIDIA Omniverse / Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN / Autodesk Design and Make / Hyпар для Revit / 2050 Materials / BIMcollab ZOOM
		BIM-modeler.	NVIDIA Omniverse / Cove.tool	NVIDIA Omniverse / Cove.tool / Building-GAN / CoGAN	Cove.tool / Building-GAN / CoGAN / Autodesk Design and Make / Hyпар для Revit / 2050 Materials / BIMcollab ZOOM
		Architectural technologist. Архітектор-технолог.	ALICE / NVIDIA Omniverse / Cove.tool	ALICE / NVIDIA Omniverse / Cove.tool / Autodesk Forma	ALICE / Cove.tool / Autodesk Forma / Autodesk Design and Make / Hyпар для Revit / 2050 Materials / BIMcollab ZOOM
		Architect restorer. Архітектор-реставратор.	Arches Heritage	Arches Heritage / Autodesk Forma	Arches Heritage / Autodesk Forma / Autodesk Design and Make /

				Нурар для Revit / 2050 Materials
	Commercial Architect. Архітектор-менеджер.	Arkio / Cove.tool	Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN	Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN / Нурар для Revit / 2050 Materials / BIMcollab ZOOM
	Constructing architect. Архітектор-будівельник.	NVIDIA Omniverse / Cove.tool	NVIDIA Omniverse / Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma	NVIDIA Omniverse / Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma / Autodesk Design and Make / Нурар для Revit / 2050 Materials / BIMcollab ZOOM
	Green Design Architects. Архітектор екологічного дизайну.	Midjourney /Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1 / NVIDIA GauGAN2 / FrankenGAN /	Midjourney /Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1 / NVIDIA GauGAN2 / FrankenGAN / Autodesk Forma / Building-GAN / CoGAN	Midjourney /Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1 / NVIDIA GauGAN2 / Autodesk Forma / Building-GAN / CoGAN / Autodesk Design and Make / Нурар для Revit / 2050 Materials / BIMcollab ZOOM
	State architect. Архітектор-держслужбовець.	Arkio / Cove.tool	Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN	Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN / Autodesk Design and Make / Нурар для Revit / 2050 Materials / BIMcollab

					ZOOM
		Residential Architect. Архітектор житлових будинків.	Arkio / Cove.tool	Midjourney / Copilot / DALL-E / Stable Diffusion / FLUX.1 / NVIDIA GauGAN2 / Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN	Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN / Autodesk Design and Make / Нупар для Revit / 2050 Materials / BIMcollab ZOOM
		Industrial Architect. Архітектор промислових будівель.	Arkio / Cove.tool	DeepScope / Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN	Cove.tool / Autodesk Forma / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN / Autodesk Design and Make / Нупар для Revit / 2050 Materials / BIMcollab ZOOM
		Landscape architect. Ландшафтний архітектор.	UrbanFootprint 1.5 / Autodesk Spacemaker / FrankenGAN / MasterplanGAN	Autodesk Spacemaker / FrankenGAN / DeepScope / MasterplanGAN / Adobe Photoshop Neural Filters / Autodesk Forma	Autodesk Forma / TestFit / 2050 Materials
		Project consultant. Консультант проекту.	Arkio / Cove.tool	Arkio / Cove.tool / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN	Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma / Building-GAN / CoGAN / Autodesk Design and Make / Нупар для Revi / 2050 Materials / BIMcollab ZOOM
3	Управління	Senior Partner. Головний архітектор проекту	ALICE / Cove.tool	ALICE / Cove.tool / Building-GAN / CoGAN	Cove.tool / House-GAN++ / Building-GAN / CoGAN / Autodesk Design and Make / Нупар для Revit / BIMcollab

					ZOOM
		Government architect. Архітектор-політик.	CityScope / Aimsun Next / Streetmix / Arches Heritage / Autodesk Spacemaker / Esri ArcGIS Urban / MasterplanGAN	Autodesk Spacemaker / Esri ArcGIS Urban / FrankenGAN / DeepScope / MasterplanGAN / Arkio / Autodesk Forma / TestFit	Autodesk Spacemaker / Autodesk Forma / TestFit
		Project manager. Архітектор-менеджер.	ALICE / Cove.tool	ALICE / FrankenGAN / Arkio / Cove.tool / Autodesk Forma / Building-GAN / CoGAN	Cove.tool / Autodesk Forma / Building-GAN / CoGAN / Autodesk Design and Make / Hypar для Revit / BIMcollab ZOOM
		Construction Supervisor. Керівник будівництва.	Arkio / Cove.tool	NVIDIA Omniverse / Arkio / Cove.tool /	Cove.tool / Autodesk Forma / Autodesk Design and Make / Hypar для Revit / BIMcollab ZOOM
		Town planner/ Urban planner. Архітектор урбаніст/містобудівник.	ArcGIS CityEngine / CityScope / Aimsun Next / Streetmix / Arches Heritage / Autodesk Spacemaker / Esri ArcGIS Urban / MasterplanGAN / Autodesk Forma	Arches Heritage / Autodesk Spacemaker / Esri ArcGIS Urban / FrankenGAN / MasterplanGAN / Autodesk Forma / TestFit	Autodesk Spacemaker / Autodesk Forma / TestFit
4	Візуалізація	Architect-illustrator. Архітектор-ілюстратор.		Adobe Photoshop Neural Filters /	
		Design visualizator		DeepScope/ Adobe Photoshop Neural Filters	
		Architect animator. Архітектор-аніматор.		Adobe Photoshop Neural Filters	
5	Наука	Architect scientist. Архітектор вчений.	Virtual Singapore / CityScope / Aimsun Next /	Arches Heritage / Autodesk Spacemaker / Esri	

			Autodesk Spacemaker / Esri ArcGIS Urban / Arkio	ArcGIS Urban / DeepScope / Arkio / Autodesk Forma / TestFit	
6	Педагогіка	Architect lecturer. Архітектор викладач.	DeepScope / TestFit	FrankenGAN / DeepScope / Arkio / House- GAN++ / TestFit	Arkio / House- GAN++ / TestFit

У висновку треба сказати, що сучасна архітектура переживає період глибоких трансформацій, викликаних бурхливим розвитком цифрових технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ). Архітектура – це багатогранна дисципліна, яка включає в себе безліч спеціалізацій: дизайн, урбаністика, реставрація, ландшафтний дизайн, будівництво та управління об'єктами. Кожна з цих сфер стикається з унікальними проблемами, які можна вирішити за допомогою штучного інтелекту.

Незважаючи на величезний потенціал штучного інтелекту в архітектурі, його впровадження стикається з низкою викликів. Одна з основних – відсутність системних знань та методик, які дозволять архітекторам оптимально та системно користуватися таким інноваційним та перспективним знаряддям, яким на сьогодні є штучний інтелект. Багато архітекторів та дизайнерів використовують його фрагментарно, без чіткого розуміння можливостей та обмежень даного інструментарію. Однак для того, щоб розкрити весь потенціал ШІ, необхідно систематизувати накопичені знання та забезпечити міждисциплінарну співпрацю. Тільки в такому випадку архітектура зможе відповісти на виклики сучасності та створити стійке, комфортне та інноваційне середовище для майбутніх поколінь.

Висновки.

Дана робота є результатом реалізації одного з тактичних завдань, отриманих в результаті формування покрокової стратегії реалізації наукового напрямку, орієнтованого на створення «Програмного комплексу для моделювання міста як динамічної системи» [57]. В результаті дослідження сформовані уявлення про цілі, завдання, можливості та особливості роботи програмних комплексів, оснащених засобами штучного інтелекту. Доведено актуальність використання ШІ в архітектурній практиці, теорії та педагогіці. Узагальнено роль штучного інтелекту у формуванні архітектури сталого розвитку, як інструментарію для створення екологічно позитивних, енергоефективних та комфортних просторів.

Одним із результатів дослідження, що становить певний науковий інтерес, є поєднання архітектурних спеціалізацій та програмних продуктів з використанням ШІ в єдиній когнітивній карті. В даний час запропонована

модель розглядається як прототип інтерфейсу сайту, що підключає задані типи даних і дозволяє швидко і легко підібрати програмний продукт, який максимально відповідає типу виконуваного завдання через систему інтерактивних посилань.

На сучасному етапі розвитку проблеми Таблиця 4 не має остаточної, заповненої форми. Деякі перехрестя можуть викликати суперечки. Це пов'язано з величезною кількістю практичного досвіду, яким необхідно володіти, щоб адекватно пов'язувати програми з видами робіт і спеціалізаціями. Такий досвід у багато разів перевищує фізичні можливості навіть групи архітекторів. Саме з такого розуміння проблеми і сформувався подальший розвиток даного дослідження - зв'язок пропонованого сайту з активним блогом, що пов'язує університети країни зі стейкхолдерами світу.

Сайт може запропонувати архітекторам доступ до інструментів, які можуть допомогти автоматизувати такі завдання, як розрахунок навантажень, оптимізація планувальних рішень та підбір матеріалів. Наприклад, штучний інтелект може аналізувати дані про кліматичні умови, сейсмічну активність та інші фактори, щоб запропонувати найбільш стійкі та енергоефективні рішення. Також він може стати освітньою платформою, де архітектори зможуть вивчати нові технології, проходити курси з використання ІІІ в архітектурі та ділитися досвідом.

На такому сайті можна інтегрувати бази даних з будівельних норм, екологічних стандартів, матеріалів і технологій. Штучний інтелект зможе аналізувати цю інформацію, надаючи архітекторам рекомендації, як дотримуватися норм і вибрати найкращі рішення.

Інтеграція з VR/AR технологіями дозволить архітекторам візуалізувати свої проєкти в режимі реального часу, проводити віртуальні тури майбутніми будівлями та вносити зміни на етапі проєктування. Також штучний інтелект допомагає проєктувати будівлі з мінімальним впливом на навколишнє середовище, аналізуючи дані про споживання енергії, викиди CO² та використання ресурсів. Це особливо важливо в умовах глобальної зміни клімату.

За допомогою ІІІ можна моделювати розвиток міст, прогнозувати транспортні потоки, розподіл населення та навантаження на інфраструктуру та інше. Це дозволяє створювати більш комфортні та функціональні міські простори. Тобто, вказаний сайт повинен стати майданчиком для обміну досвідом, де архітектори, інженери, дизайнери та науковці зможуть обговорювати проєкти, обмінюватися знаннями та знаходити партнерів для спільної роботи. Платформа може надати можливість публікувати портфелі, шукати замовлення, залучати інвестиції. Штучний інтелект може аналізувати

запити клієнтів і пропонувати найбільш підходящі проекти. Створення такого ресурсу не тільки спростить роботу архітекторів, але і стане каталізатором для інновацій, сприяючи створенню більш стійких, архітектурних рішень.

Список використаної літератури.

1. Kohn, George C., ed. (2006). Dictionary of Wars (Third ed.). Infobase Publishing. p. 47. ISBN 978-0-8160-6577-6.
2. Fomenko O., Danylov S., Izbash A., Iliencko O. Sustainable Development of Architecture "Beyond Growth" (2023) Lecture Notes in Networks and Systems, 808 LNNS, pp. 77 - 88. DOI: 10.1007/978-3-031-46877-3_7.
3. Fredricksmeier, Ernest A. (July 1961). "Alexander, Midas, and the Oracle at Gordium". Classical Philology. 56 (3): 160–168. doi:10.1086/364593.
4. Danylov S., Fomenko O., Vigdorovich O., Vinnychenko T. "Nodes of Problems" as a Component of the Smart Technology of City Monitoring as a Dynamic System (2023) Lecture Notes in Networks and Systems, 808 LNNS, pp. 65 - 76. DOI: 10.1007/978-3-031-46877-3_6.
5. Fomenko O., Danylov S., Sleptcov O., Izbash A. The problem of formation of innovative directions in the profession "architect" (2020) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907 (1), art. no. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/907/1/012018.
6. G. De Luca, S. Fabozzi, N. Massarotti, L. Vanoli. A renewable energy system for a nearly zero greenhouse city: Case study of a small city in southern Italy. Energy, Volume 143, 2018, Pages 347-362, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.004>.
7. John Israilidis, Kayode Odusanya, Muhammad Usman Mazhar. Exploring knowledge management perspectives in smart city research: A review and future research agenda. International Journal of Information Management, Volume 56, 2021, 101989, ISSN 0268-4012, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.07.015>.
8. Jiang M., Yu X. Enhancing the resilience of urban energy systems: The role of artificial intelligence (2025) Energy Economics, 144, art. no. 108313. DOI: 10.1016/j.eneco.2025.108313.
9. Wang Y., Ye H., Xiong J., Nie Y., Jiang L., Zhang A. Digitization impact on future housing building industry mode (2024) Journal of Building Engineering, 96, art. no. 110202. DOI: 10.1016/j.jobbe.2024.110202.
10. Ke Liu, Xiaodong Xu, Ran Zhang, Lingyu Kong, Wei Wang, Wei Deng. Impact of urban form on building energy consumption and solar energy potential: A case study of residential blocks in Jianhu, China. Energy and Buildings, Volume 280, 2023, 112727, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112727>.
11. Cyrus Ho Hin Wong, Meng Cai, Chao Ren, Ying Huang, Cuiping Liao, Shi Yin. Modelling building energy use at urban scale: A review on their account for the urban environment. Building and Environment, Volume 205, 2021, 108235, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108235>.
12. Calvetti D., Mêda P., Hjelseth E., de Sousa H. Incremental digital twin framework: A design science research approach for practical deployment (2025) Automation in Construction, 170, art. no. 105954. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105954.
13. Tianzhen Hong, Yixing Chen, Xuan Luo, Na Luo, Sang Hoon Lee. Ten questions on urban building energy modeling. Building and Environment, Volume 168, 2020, 106508, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106508>.
14. Raheemat O. Yussuf, Omar S. Asfour. Applications of artificial intelligence for energy efficiency throughout the building lifecycle: An overview, Energy and Buildings, Volume 305, 2024, 113903, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113903>.
15. Sofiat O. Abioye, Lukumon O. Oyedele, Lukman Akanbi, Anuoluwapo Ajayi, Juan Manuel Davila Delgado, Muhammad Bilal, Olugbenga O. Akinade, Ashraf Ahmed. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future

challenges. *Journal of Building Engineering*, Volume 44, 2021, 103299, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103299>.

16. Sikiru Abiodun Ganiyu, Lukumon O. Oyedele, Olugbenga Akinade, Hakeem Owolabi, Lukman Akanbi, Abdulqayum Gbadamosi. BIM competencies for delivering waste-efficient building projects in a circular economy, *Developments in the Built Environment*, Volume 4, 2020, 100036, ISSN 2666-1659, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100036>.

17. Anuoluwapo Ajayi, Lukumon Oyedele, Olugbenga Akinade, Muhammad Bilal, Hakeem Owolabi, Lukman Akanbi, Juan Manuel Davila Delgado. Optimised Big Data analytics for health and safety hazards prediction in power infrastructure operations. *Safety Science*, Volume 125, 2020, 104656, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104656>.

18. Chu, B., Jung, K., Han, CS. et al. A survey of climbing robots: Locomotion and adhesion. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 11, 633–647 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12541-010-0075-3>.

19. Abdullah Alsalemi, Yassine Himeur, Faycal Bensaali, Abbes Amira. An innovative edge-based Internet of Energy solution for promoting energy saving in buildings. *Sustainable Cities and Society*, Volume 78, 2022, 103571, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103571>.

20. Sanchez-Sepulveda M.V., Bagdasaryan K., Amo-Filva D., Martin J.N., Fonseca D. Navigating Urban Futures: Exploring the Synergy of Geospatial Technology and Urbanism in Education and Practice (2024) *Lecture Notes in Educational Technology*, Part F2959, pp. 315 - 325. DOI: 10.1007/978-981-97-2468-0_31

21. Sustainable Development Goals/ iso / <https://www.iso.org/sdg>.

22. Patil M.P., Salama A.M. Shaping a future research agenda across diverse knowledge spaces in architecture and urbanism – through the lens of Archnet-IJAR (2024) *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 18 (4), pp. 693 - 718. DOI: 10.1108/ARCH-10-2024-0450.

23. Driver and Kroeber (1932). "Quantitative Expression of Cultural Relationships". *University of California Publications in American Archaeology and Ethnology*. Quantitative Expression of Cultural Relationships. Berkeley, CA: University of California Press: 211–256.

24. Hajrasouliha A., Amos D. Procedural Modeling in Urban Digital Twins as a Tool for Visualization, Analysis, and Public Engagement: Examining a Housing Policy in California (2024) *Journal of Planning Education and Research*. DOI: 10.1177/0739456X241269040.

25. Calthorpe Analytics. UrbanFootprint v1.5 - User Guide // <https://urbanfootprint-v1.readthedocs.io/en/latest/index.html>.

26. Sivarethinamohan R., Samiksha Reddy R. Digital Twin for Smart City Resilience and Solutions (2025) *Digital Twin and Blockchain for Smart Cities*, pp. 605 - 619. DOI: 10.1002/9781394303564.ch25.

27. Yurrita M., Grignard A., Alonso L., Larson K. Real-Time Inference of Urban Metrics Applying Machine Learning to an Agent-Based Model Coupling Mobility Mode and Housing Choice (2022) *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 13128 LNAI, pp. 125 - 138. DOI: 10.1007/978-3-030-94548-0_10.

28. Tumminello, Maria Luisa, Elżbieta Macioszek, Anna Granà, and Tullio Giuffrè. 2023. "Evaluating Traffic-Calming-Based Urban Road Design Solutions Featuring Cooperative Driving Technologies in Energy Efficiency Transition for Smart Cities" *Energies* 16, no. 21: 7325. <https://doi.org/10.3390/en16217325>.

29. Andrei, Liliana, and Oana Luca. 2024. "Assessing the Transformative Potential: An Examination of the Urban Mobility Impact Based on an Open-Source Microscopic Traffic Simulator for Autonomous Vehicles" *ISPRS International Journal of Geo-Information* 13, no. 1: 16. <https://doi.org/10.3390/ijgi13010016>.

30. Jan, Jihn-Fa. 2018. "Application of Open-Source Software in Community Heritage Resources Management" ISPRS International Journal of Geo-Information 7, no. 11: 426. <https://doi.org/10.3390/ijgi7110426>.
31. Autodesk Inc. Spacemaker: Make intelligent site acquisitions // <https://www.autodesk.com/eu/campaigns/spacemaker>.
32. ALICE Technologies Inc. Optimize, de-risk, or recover your construction project // <https://www.alicetechnologies.com/home#:~:text=ALICE%20is%20an%20AI-powered%20construction%20scheduling%20software%20designed,explore%20numerous%20scenarios%20and%20surface%20multiple%20feasible%20schedules>.
33. Soward E., Li J. ArcGIS Urban: an application for plan assessment (2021) Computational Urban Science, 1 (1), art. no. 15. DOI: 10.1007/s43762-021-00016-9.
34. Jeon Y., Tran D.Q., Vo K.T.D., Jeon J., Park M., Park S. Neural radiance fields for construction site scene representation and progress evaluation with BIM (2025) Automation in Construction, 172, art. no. 106013. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106013.
35. Naik T., Gostu H., Sharma R. Navigating Ethics of AI-Powered Creativity in Midjourney (2024) 2024 3rd International Conference for Innovation in Technology, INOCON 2024. DOI: 10.1109/INOCON60754.2024.10511571.
36. Gür M., Çorakbaş F.K., Atar İ.S., Çelik M.G., Maşat İ., Şahin C. Communicating AI for Architectural and Interior Design: Reinterpreting Traditional Iznik Tile Compositions through AI Software for Contemporary Spaces (2024) Buildings, 14 (9), art. no. 2916. DOI: 10.3390/buildings14092916/
37. Zheng H. A diffusion-based machine learning method for 3D architectural form-finding (2025) Frontiers of Architectural Research. DOI: 10.1016/j.foar.2024.12.002/
38. Ching V., Mothi D. AI for creatives: Unlocking expressive digital potential (2025) AI for Creatives: Unlocking Expressive Digital Potential, pp. 1 - 123. DOI: 10.1201/9781003533016/
39. Li M., Amoroso N. An Early Look at Applications for Artificial Intelligence Visualization Software in Landscape Architecture (2023) Journal of Digital Landscape Architecture, 2023 (8), pp. 543 - 553. DOI: 10.14627/537740057/
40. Tom Kelly, Paul Guerrero, Anthony Steed, Peter Wonka, and Niloy J. Mitra. 2018. FrankenGAN: guided detail synthesis for building mass models using style-synchronized GANs. ACM Trans. Graph. 37, 6, Article 216 (December 2018), 14 pages. <https://doi.org/10.1145/3272127.3275065>.
41. Noyman A., Larson K. A Deep Image of the City: Generative Urban-Design Visualization (2020) SimAUD 2020: Proceedings of the 11th Annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design. ISBN 978-156555371-2.
42. Ye, X., Du, J., & Ye, Y. (2022). MasterplanGAN: Facilitating the smart rendering of urban master plans via generative adversarial networks. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 49(3), 794-814. <https://doi.org/10.1177/23998083211023516>.
43. Adobe. Make smarter edits with Photoshop Neural Filters // <https://www.adobe.com/products/photoshop/neural-filter.html>.
44. Arkio ehf. Simplify design collaboration // <https://www.arkio.is/>
45. Aec+tech. Introducing Forma's Suite of Sustainability Tools for Architectural Design. May 15, 2024. // <https://www.aecplustech.com/blog/introducing-forma-suite-of-sustainability-tools-for-architectural-design>.
46. Nauata N., Hosseini S., Chang K.-H., Chu H., Cheng C.-Y., Furukawa Y. House-GAN++: Generative adversarial layout refinement network towards intelligent computational agent for professional architects (2021) Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 13627 - 13636. DOI: 10.1109/CVPR46437.2021.01342.
47. K. -H. Chang, C. -Y. Cheng, J. Luo, S. Murata, M. Nourbakhsh and Y. Tsuji, "Building-GAN: Graph-Conditioned Architectural Volumetric Design Generation," 2021 IEEE/CVF

International Conference on Computer Vision (ICCV), Montreal, QC, Canada, 2021, pp. 11936-11945, doi: 10.1109/ICCV48922.2021.01174.

48. Pedram Ghannad, Yong-Cheol Lee. Automated modular housing design using a module configuration algorithm and a coupled generative adversarial network (CoGAN). *Automation in Construction*, Volume 139, 2022, 104234, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104234>.

49. Veerendra G.T.N., Dey S., Mantle E.J., Manoj A.V.P., Padavala S.S.A.B. Building information modeling – simulation and analysis of a University Edifice and its environs – A sustainable design approach (2025) *Green Technologies and Sustainability*, 3 (2), art. no. 100150. DOI: 10.1016/j.grets.2024.100150.

50. Zhang Y., Zhou T., Tao Y., Wang S., Wu Y., Liu B., Gu P., Chen Q., Chen D.Z. TestFit: A plug-and-play one-pass test time method for medical image segmentation (2024) *Medical Image Analysis*, 92, art. no. 103069. DOI: 10.1016/j.media.2023.103069.

51. Hypar for Revit // <https://docs.hypar.io/hypar-for-revit>.

52. Chrysorogiatissis & Kolokotroni. Sustainable Innovations: A Closer Look at 2050 Materials Solutions // <https://2050-materials.com/blog/sustainable-innovations-a-closer-look-at-2050-materials-solutions/>

53. OpenSpace. Get answers. Keep building. // <https://www.openspace.ai/>

54. BIMcollab ZOOM . Driving model-based collaboration // <https://www.bimcollab.com/en/>

55. Barosio M., Sentieri C. OPPORTUNITIES IN MISMATCHES BETWEEN ARCHITECTURAL EDUCATION AND PROFESSIONAL OUTCOMES (2024) *Architecture's Afterlife: The Multisector Impact of an Architecture Degree*, pp. 132 - 140. DOI: 10.4324/9781003411574-16.

56. Fregosi P. Performativity in Architecture: The production of discourse, meaning and action from contemporary architectural activity (2022) *Anales de Investigacion en Arquitectura*, 12 (2), DOI: 10.18861/ania.2022.12.2.3210.

57. Izbash A., Fomenko O., Danylov S. Innovative tools for implementing the smart city concept in architectural urbanism (2023) *AIP Conference Proceedings*, 2490 (1), art. no. 030009.

D.Arch., Professor **Oxana Fomenko**,
Postgraduate student **Ihor Balabanov**,
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE ARCHITECTURE

Modern architecture is a high-tech part of the construction industry with extremely high and fierce competition. In such competition, organizations that effectively use top innovations gain maximum advantages. The highest level of architectural and construction innovations includes software products that use artificial intelligence tools. With the rapid development of digital technologies and increasing requirements for environmental friendliness, functionality and aesthetics of buildings, the use of artificial intelligence (AI) is becoming not just a trend, but a necessity. Architectural theory and practice are increasingly turning to artificial intelligence as a tool that can revolutionize the way objects are designed, built and

managed. Today, technologies have been implemented and successfully used in the analysis, modeling and design of the architectural environment, which optimize the processes of functioning of cities and individual buildings. A large block of programs is devoted to energy saving, resource saving, optimization of planning solutions and transport networks, which help to improve the design while simultaneously increasing the operational characteristics of buildings and many, many others.

This article is devoted to the topic of the relationship between the types of activities of an architect and the corresponding software products that use artificial intelligence.

As a result of the study, ideas were formed about the goals, objectives, capabilities and features of the work of software complexes equipped with artificial intelligence tools. The relevance of the use of AI in architectural practice, theory and pedagogy was proven. Promising directions for further research were identified. One of the results of the study, which is of certain scientific interest, is the combination of architectural specializations and software products using AI in a single model.

The proposed model is considered as a prototype of the site interface, which allows you to quickly and easily select a software product that best matches the type of task being performed through a system of interactive links. A further development of this research is the connection of the proposed site with an active blog that connects the country's universities with global stakeholders.

Keywords: architectural specializations; city; software; artificial intelligence; sustainable development.

REFERENCES

1. Kohn, George C., ed. (2006). Dictionary of Wars (Third ed.). Infobase Publishing. p. 47. ISBN 978-0-8160-6577-6. {in English}
2. Fomenko O., Danylov S., Izbash A., Iliencko O. Sustainable Development of Architecture "Beyond Growth" (2023) Lecture Notes in Networks and Systems, 808 LNNS, pp. 77 - 88. DOI: 10.1007/978-3-031-46877-3_7. {in English}
3. Fredricksmeier, Ernest A. (July 1961). "Alexander, Midas, and the Oracle at Gordium". Classical Philology. 56 (3): 160–168. doi:10.1086/364593. {in English}
4. Danylov S., Fomenko O., Vigdorovich O., Vinnychenko T. "Nodes of Problems" as a Component of the Smart Technology of City Monitoring as a Dynamic System (2023) Lecture Notes in Networks and Systems, 808 LNNS, pp. 65 - 76. DOI: 10.1007/978-3-031-46877-3_6. {in English}
5. Fomenko O., Danylov S., Sleptcov O., Izbash A. The problem of formation of innovative directions in the profession "architect" (2020) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907 (1), art. no. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/907/1/012018. {in English}

6. G. De Luca, S. Fabozzi, N. Massarotti, L. Vanoli. A renewable energy system for a nearly zero greenhouse city: Case study of a small city in southern Italy. *Energy*, Volume 143, 2018, Pages 347-362, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.004>. {in English}
7. John Israilidis, Kayode Odusanya, Muhammad Usman Mazhar. Exploring knowledge management perspectives in smart city research: A review and future research agenda. *International Journal of Information Management*, Volume 56, 2021, 101989, ISSN 0268-4012, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.07.015>. {in English}
8. Jiang M., Yu X. Enhancing the resilience of urban energy systems: The role of artificial intelligence (2025) *Energy Economics*, 144, art. no. 108313. DOI: 10.1016/j.eneco.2025.108313. {in English}
9. Wang Y., Ye H., Xiong J., Nie Y., Jiang L., Zhang A. Digitization impact on future housing building industry mode (2024) *Journal of Building Engineering*, 96, art. no. 110202. DOI: 10.1016/j.jobbe.2024.110202. {in English}
10. Ke Liu, Xiaodong Xu, Ran Zhang, Lingyu Kong, Wei Wang, Wei Deng. Impact of urban form on building energy consumption and solar energy potential: A case study of residential blocks in Jianhu, China. *Energy and Buildings*, Volume 280, 2023, 112727, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112727>. {in English}
11. Cyrus Ho Hin Wong, Meng Cai, Chao Ren, Ying Huang, Cuiping Liao, Shi Yin. Modelling building energy use at urban scale: A review on their account for the urban environment. *Building and Environment*, Volume 205, 2021, 108235, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108235>. {in English}
12. Calvetti D., Mêda P., Hjelseth E., de Sousa H. Incremental digital twin framework: A design science research approach for practical deployment (2025) *Automation in Construction*, 170, art. no. 105954. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105954. {in English}
13. Tianzhen Hong, Yixing Chen, Xuan Luo, Na Luo, Sang Hoon Lee. Ten questions on urban building energy modeling. *Building and Environment*, Volume 168, 2020, 106508, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106508>. {in English}
14. Raheemat O. Yussuf, Omar S. Asfour. Applications of artificial intelligence for energy efficiency throughout the building lifecycle: An overview, *Energy and Buildings*, Volume 305, 2024, 113903, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113903>. {in English}
15. Sofiat O. Abioye, Lukumon O. Oyedele, Lukman Akanbi, Anuoluwapo Ajayi, Juan Manuel Davila Delgado, Muhammad Bilal, Olugbenga O. Akinade, Ashraf Ahmed. Artificial intelligence in the construction industry: A review of

present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, Volume 44, 2021, 103299, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103299>. {in English}

16. Sikiru Abiodun Ganiyu, Lukumon O. Oyedele, Olugbenga Akinade, Hakeem Owolabi, Lukman Akanbi, Abdulqayum Gbadamosi. BIM competencies for delivering waste-efficient building projects in a circular economy, *Developments in the Built Environment*, Volume 4, 2020, 100036, ISSN 2666-1659, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100036>. {in English}

17. Anuoluwapo Ajayi, Lukumon Oyedele, Olugbenga Akinade, Muhammad Bilal, Hakeem Owolabi, Lukman Akanbi, Juan Manuel Davila Delgado. Optimised Big Data analytics for health and safety hazards prediction in power infrastructure operations. *Safety Science*, Volume 125, 2020, 104656, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104656>. {in English}

18. Chu, B., Jung, K., Han, CS. et al. A survey of climbing robots: Locomotion and adhesion. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 11, 633–647 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12541-010-0075-3>. {in English}

19. Abdullah Alsalemi, Yassine Himeur, Faycal Bensaali, Abbes Amira. An innovative edge-based Internet of Energy solution for promoting energy saving in buildings. *Sustainable Cities and Society*, Volume 78, 2022, 103571, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103571>. {in English}

20. Sanchez-Sepulveda M.V., Bagdasaryan K., Amo-Filva D., Martin J.N., Fonseca D. Navigating Urban Futures: Exploring the Synergy of Geospatial Technology and Urbanism in Education and Practice (2024) *Lecture Notes in Educational Technology*, Part F2959, pp. 315 - 325. DOI: 10.1007/978-981-97-2468-0_31 {in English}

21. Sustainable Development Goals/ iso / <https://www.iso.org/sdg>. {in English}

22. Patil M.P., Salama A.M. Shaping a future research agenda across diverse knowledge spaces in architecture and urbanism – through the lens of Archnet-IJAR (2024) *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 18 (4), pp. 693 - 718. DOI: 10.1108/ARCH-10-2024-0450. {in English}

23. Driver and Kroeber (1932). "Quantitative Expression of Cultural Relationships". *University of California Publications in American Archaeology and Ethnology*. Quantitative Expression of Cultural Relationships. Berkeley, CA: University of California Press: 211–256. {in English}

24. Hajrasouliha A., Amos D. Procedural Modeling in Urban Digital Twins as a Tool for Visualization, Analysis, and Public Engagement: Examining a Housing Policy in California (2024) *Journal of Planning Education and Research*. DOI: 10.1177/0739456X241269040. {in English}

25. Calthorpe Analytics. UrbanFootprint v1.5 - User Guide // <https://urbanfootprint-v1.readthedocs.io/en/latest/index.html>. {in English}
26. Sivarethinamohan R., Samiksha Reddy R. Digital Twin for Smart City Resilience and Solutions (2025) Digital Twin and Blockchain for Smart Cities, pp. 605 - 619. DOI: 10.1002/9781394303564.ch25. {in English}
27. Yurrita M., Grignard A., Alonso L., Larson K. Real-Time Inference of Urban Metrics Applying Machine Learning to an Agent-Based Model Coupling Mobility Mode and Housing Choice (2022) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 13128 LNAI, pp. 125 - 138. DOI: 10.1007/978-3-030-94548-0_10. {in English}
28. Tumminello, Maria Luisa, Elżbieta Macioszek, Anna Granà, and Tullio Giuffrè. 2023. "Evaluating Traffic-Calming-Based Urban Road Design Solutions Featuring Cooperative Driving Technologies in Energy Efficiency Transition for Smart Cities" *Energies* 16, no. 21: 7325. <https://doi.org/10.3390/en16217325>. {in English}
29. Andrei, Liliana, and Oana Luca. 2024. "Assessing the Transformative Potential: An Examination of the Urban Mobility Impact Based on an Open-Source Microscopic Traffic Simulator for Autonomous Vehicles" *ISPRS International Journal of Geo-Information* 13, no. 1: 16. <https://doi.org/10.3390/ijgi13010016>. {in English}
30. Jan, Jihn-Fa. 2018. "Application of Open-Source Software in Community Heritage Resources Management" *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7, no. 11: 426. <https://doi.org/10.3390/ijgi7110426>. {in English}
31. Autodesk Inc. Spacemaker: Make intelligent site acquisitions // <https://www.autodesk.com/eu/campaigns/spacemaker>. {in English}
32. ALICE Technologies Inc. Optimize, de-risk, or recover your construction project // <https://www.alicetechnologies.com/home#:~:text=ALICE%20is%20an%20AI-powered%20construction%20scheduling%20software%20designed,explore%20numerous%20scenarios%20and%20surface%20multiple%20feasible%20schedules>. {in English}
33. Soward E., Li J. ArcGIS Urban: an application for plan assessment (2021) *Computational Urban Science*, 1 (1), art. no. 15. DOI: 10.1007/s43762-021-00016-9. {in English}
34. Jeon Y., Tran D.Q., Vo K.T.D., Jeon J., Park M., Park S. Neural radiance fields for construction site scene representation and progress evaluation with BIM (2025) *Automation in Construction*, 172, art. no. 106013. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106013. {in English}

35. Naik T., Gostu H., Sharma R. Navigating Ethics of AI-Powered Creativity in Midjourney (2024) 2024 3rd International Conference for Innovation in Technology, INOCON 2024. DOI: 10.1109/INOCON60754.2024.10511571. {in English}
36. Gür M., Çorakbaş F.K., Atar İ.S., Çelik M.G., Maşat İ., Şahin C. Communicating AI for Architectural and Interior Design: Reinterpreting Traditional Iznik Tile Compositions through AI Software for Contemporary Spaces (2024) Buildings, 14 (9), art. no. 2916. DOI: 10.3390/buildings14092916/ {in English}
37. Zheng H. A diffusion-based machine learning method for 3D architectural form-finding (2025) Frontiers of Architectural Research. DOI: 10.1016/j.foar.2024.12.002/ {in English}
38. Ching V., Mothi D. AI for creatives: Unlocking expressive digital potential (2025) AI for Creatives: Unlocking Expressive Digital Potential, pp. 1 - 123. DOI: 10.1201/9781003533016/ {in English}
39. Li M., Amoroso N. An Early Look at Applications for Artificial Intelligence Visualization Software in Landscape Architecture (2023) Journal of Digital Landscape Architecture, 2023 (8), pp. 543 - 553. DOI: 10.14627/537740057/ {in English}
40. Tom Kelly, Paul Guerrero, Anthony Steed, Peter Wonka, and Niloy J. Mitra. 2018. FrankenGAN: guided detail synthesis for building mass models using style-synchronized GANs. ACM Trans. Graph. 37, 6, Article 216 (December 2018), 14 pages. <https://doi.org/10.1145/3272127.3275065>. {in English}
41. Noyman A., Larson K. A Deep Image of the City: Generative Urban-Design Visualization (2020) SimAUD 2020: Proceedings of the 11th Annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design. ISBN 978-156555371-2. {in English}
42. Ye, X., Du, J., & Ye, Y. (2022). MasterplanGAN: Facilitating the smart rendering of urban master plans via generative adversarial networks. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 49(3), 794-814. <https://doi.org/10.1177/23998083211023516>. {in English}
43. Adobe. Make smarter edits with Photoshop Neural Filters // <https://www.adobe.com/products/photoshop/neural-filter.html>. {in English}
44. Arkio ehf. Simplify design collaboration // <https://www.arkio.is/>
45. Aec+tech. Introducing Forma's Suite of Sustainability Tools for Architectural Design. May 15, 2024. // <https://www.aecplustech.com/blog/introducing-forma-suite-of-sustainability-tools-for-architectural-design>. {in English}
46. Nauata N., Hosseini S., Chang K.-H., Chu H., Cheng C.-Y., Furukawa Y. House-GaN++: Generative adversarial layout refinement network towards intelligent

computational agent for professional architects (2021) Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 13627 - 13636. DOI: 10.1109/CVPR46437.2021.01342. {in English}

47. K. -H. Chang, C. -Y. Cheng, J. Luo, S. Murata, M. Nourbakhsh and Y. Tsuji, "Building-GAN: Graph-Conditioned Architectural Volumetric Design Generation," 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), Montreal, QC, Canada, 2021, pp. 11936-11945, doi: 10.1109/ICCV48922.2021.01174. {in English}

48. Pedram Ghannad, Yong-Cheol Lee. Automated modular housing design using a module configuration algorithm and a coupled generative adversarial network (CoGAN). Automation in Construction, Volume 139, 2022, 104234, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104234>. {in English}

49. Veerendra G.T.N., Dey S., Mantle E.J., Manoj A.V.P., Padavala S.S.A.B. Building information modeling – simulation and analysis of a University Edifice and its environs – A sustainable design approach (2025) Green Technologies and Sustainability, 3 (2), art. no. 100150. DOI: 10.1016/j.grets.2024.100150. {in English}

50. Zhang Y., Zhou T., Tao Y., Wang S., Wu Y., Liu B., Gu P., Chen Q., Chen D.Z. TestFit: A plug-and-play one-pass test time method for medical image segmentation (2024) Medical Image Analysis, 92, art. no. 103069. DOI: 10.1016/j.media.2023.103069. {in English}

51. Hypar for Revit // <https://docs.hypar.io/hypar-for-revit>. {in English}

52. Chrysorogiatis & Kolokotroni. Sustainable Innovations: A Closer Look at 2050 Materials Solutions // <https://2050-materials.com/blog/sustainable-innovations-a-closer-look-at-2050-materials-solutions/> {in English}

53. OpenSpace. Get answers. Keep building. // <https://www.openspace.ai/>

54. BIMcollab ZOOM. Driving model-based collaboration // <https://www.bimcollab.com/en/>. {in English}

55. Barosio M., Sentieri C. OPPORTUNITIES IN MISMATCHES BETWEEN ARCHITECTURAL EDUCATION AND PROFESSIONAL OUTCOMES (2024) Architecture's Afterlife: The Multisector Impact of an Architecture Degree, pp. 132 - 140. DOI: 10.4324/9781003411574-16. {in English}

56. Fregosi P. Performativity in Architecture: The production of discourse, meaning and action from contemporary architectural activity (2022) Anales de Investigacion en Arquitectura, 12 (2), DOI: 10.18861/ania.2022.12.2.3210. {in English}

57. Izbash A., Fomenko O., Danylov S. Innovative tools for implementing the smart city concept in architectural urbanism (2023) AIP Conference Proceedings, 2490 (1), art. no. 030009. DOI: 10.1063/5.0123449. {in English}