



DOI <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2025-4-4>

УДК 72.012.1:004.8

ORCID ID: 0009-0001-9900-0072

ORCID ID: 0000-0001-5024-2233

Денис Карандюк

*аспірант кафедри теорії, історії архітектури та синтезу мистецтв
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
denys.karandiuk@naoma.edu.ua*

Кирило Комаров

*кандидат архітектури, доцент кафедри архітектурних конструкцій
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
kyrylo.komarov@naoma.edu.ua*

МЕТОД ІНТЕГРАЦІЇ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З СЕРЕДОВИЩЕМ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ GRASSHOPPER ДЛЯ АРХІТЕКТУРНОГО ФОРМОТВОРЕННЯ

Анотація. *Метою даної статті є аналіз та узагальнення досвіду інтеграції генеративного штучного інтелекту (Stable Diffusion, Midjourney, Krea AI) з середовищем параметричного дизайну у застосунку Grasshopper для архітектурного формотворення та визначення переваг, що виникають у процесі такого поєднання. В дослідженні розглянуто можливості генеративного штучного інтелекту як інструмента для розширення потенціалу параметричного дизайну, зокрема у пошуку нових композиційних рішень, тектоніки, ритму та загальної архітектурної виразності. Вивчено існуючі підходи інтеграції генеративного штучного інтелекту в архітектурну практику, зокрема методи, що використовують «захоплення» видового екрана з подальшою генерацією зображень в реальному часі на основі заданих промтів (текстових інструкцій) за допомогою інструментів Stable Diffusion та Krea AI. **Методи дослідження** включають аналіз сучасних наукових публікацій, порівняльний аналіз існуючих інструментів, узагальнення практичних кейсів та опис робочих процесів для систематизації інформації та визначення ключових аспектів інтеграції штучного інтелекту в параметричний дизайн. **Результати дослідження** демонструють потенціал створення замкненої екосистеми, що поєднує інструменти параметричного дизайну, інформаційного моделювання та візуалізації в реальному часі. Встановлено, що інтегровані технології на кшталт Rhino.Inside, забезпечують безперервний та неструктурований процес формотворення з максимальною гнучкістю та оперативністю внесення змін до проєкту. **Висновки.** Інтеграція генеративного штучного інтелекту з інструментами параметричного дизайну сприяє значному розширенню творчих можливостей архітектора, даючи змогу швидко ітеративно оцінювати архітектурні рішення, підвищуючи якість та виразність архітектурних концепцій.*

Ключові слова: алгоритми генеративного штучного інтелекту, параметричне моделювання, архітектурне формотворення, концептуальний дизайн, Stable Diffusion, Midjourney, Krea AI, Grasshopper, Rhino.Inside.

Denis Karandyuk

*Postgraduate Student at the Departments of Theory, History of Architecture
and Synthesis of Arts National Academy of Fine Arts and Architecture
denys.karandiuk@naoma.edu.ua*

Kyrylo Komarov

*Candidate of Architecture,
Associate Professor at the Department of Architectural Structures
National Academy of Fine Arts and Architecture
kyrylo.komarov@naoma.edu.ua*

A METHOD FOR INTEGRATING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE WITH THE GRASSHOPPER PARAMETRIC DESIGN ENVIRONMENT FOR ARCHITECTURAL FORM CREATION

Abstract. *The purpose of this article is to analyze and summarize the experience of integrating generative artificial intelligence (Stable Diffusion, Midjourney, Krea AI) with the parametric design environment in the Grasshopper*

application for architectural form creation and to identify the advantages that arise in the process of such integration. The study examines the possibilities of generative artificial intelligence as a tool for expanding the potential of parametric design, in particular in the search for new compositional solutions, tectonics, rhythm, and overall architectural expressiveness. Existing approaches to integrating generative artificial intelligence into architectural practice are studied, in particular methods that use screen capture with subsequent real-time image generation based on specified (textual) prompts using Stable Diffusion and Krea AI tools. **Research methods** include analysis of current scientific publications, comparative analysis of existing tools, generalization of practical cases, and description of work processes to systematize information and identify key aspects of integrating artificial intelligence into parametric design. **The research results** demonstrate the potential for creating a closed ecosystem that combines parametric design, information modeling, and real-time visualization tools. It has been established that integrated technologies such as Rhino.Inside provide a continuous and non-destructive form-creation process with maximum flexibility and speed of changes to the project. **Conclusions.** The integration of generative artificial intelligence with parametric design tools significantly expands the creative capabilities of architects, allowing them to quickly and iteratively evaluate architectural solutions, improving the quality and expressiveness of architectural concepts.

Key words: generative artificial intelligence algorithms, parametric modeling, architectural form creation, conceptual design, Stable Diffusion, Midjourney, Krea AI, Grasshopper, Rhino.Inside.

Постановка проблеми. Незважаючи на успіхи параметричного проектування і генеративного ШІ окремо, їхнє одночасне використання породжує низку проблемних питань. Зокрема йдеться про невідповідність формату даних, оскільки параметричні моделі оперують геометрією на основі алгоритмів, натомість генеративні моделі оперують зображеннями. Це означає, що прямого виходу 3D-моделі з ШІ поки немає (генерація 3D ще в зародковому стані), і архітектори застосовують ШІ здебільшого для створення концептуальних візуалізацій. Однак такі зображення не пов'язані з цифровою моделлю проєкту. Наприклад, якщо архітектор отримав ШІ-зображення фасаду, йому доводиться власноруч інтерпретувати його в параметричну модель. З іншого боку, якщо є напрацьована параметрична форма (наприклад, архітектурно-планувальне рішення будівлі), важко точно згенерувати реалістичне зображення саме цієї форми лише через текстовий опис – ШІ створює образ довільно. Це підтверджено під час практичного проєктування. Зокрема автори Hatch-Duo зазначають, що створити точне зображення конкретної моделі надзвичайно складно, якщо надати лише текст; необхідно комбінувати зображення моделі з текстовими підказками для того, щоб ШІ врахував форму [1]. Відповідно, перша проблема полягає у встановленні двостороннього зв'язку між параметричною моделлю і генеративним ШІ таким чином, щоб користь від ШІ була застосована саме до поточної архітектурної форми, а не до абстрактного образу.

Друга проблема – це низький ступінь керованості і відповідності вимогам. Генеративні моделі здатні пропонувати якісні зображення, але їхня придатність для застосування в реальному проєкті не гарантована. Часто зображення, створені нейромережею, порушують пропорції, конструктивну

логіку або не задовольняють конкретні технічні умови проєкту. В дослідженнях відзначається, що існуючі підходи «text-to-image» у чистому вигляді не можуть забезпечити дотримання дизайн-намірів (тобто вимог клієнта), стилістики, контексту, тому потрібні спеціальні засоби навчання ШІ на архітектурних даних та введення додаткового контролю (наприклад, скетчів, діаграм) в генерацію. Виникає необхідність навчити ШІ розуміти професійний контекст і поєднувати текстові вимоги із вхідною геометрією (скетчем чи об'ємно-просторовою моделлю), без чого генеративний підхід ризикує стати лише «додатком», що видає красиві, але непридатні для роботи зображення.

Третя проблема – організація робочого процесу. В архітектурному проєктуванні використовується багато програмних середовищ: моделювання форми (наприклад, Rhino/Grasshopper), BIM-документування (наприклад, Revit), візуалізація (Vray, Corona тощо). Додавання ще й зовнішнього сервісу генерації зображень може ускладнити і без того багатоскладовий процес. Якщо ці інструменти не інтегровані, архітектор витрачає час на експорт-імпорт даних, ручне коригування і підтримання узгодженості між різними середовищами. Це деструктивно впливає на процес (правки в одній програмі можуть не перенестись в іншу, виникають невідповідності). Виникає наступна проблема: створити єдиний, безшовний і недеструктивний процес, де генеративний ШІ органічно поєднано з параметричним моделюванням, а також з іншими етапами (аналіз, BIM), щоб усі зміни враховувалися автоматично.

Нарешті, четвертий чинник – кадровий і методологічний. Нові інструменти вимагають нових навичок. Не всі архітектори, що володіють Grasshopper, знайомі з принципами роботи Stable

Diffusion або методами навчання нейромереж, і навпаки. Тому інтеграція має бути здійснена у зручній формі (наприклад, у вигляді готових компонентів чи плагінів), аби поріг входження був низьким. Інакше потенціал технології залишиться невикористаним у широкій практиці. Таким чином, підсумовуючи, можемо констатувати, що потрібні методи та інструменти, які дадуть змогу архітекторам поєднувати генеративний ШІ з параметричним проєктуванням легко, результативно і відповідно до вимог проєкту, зберігаючи увесь спектр переваг обох підходів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Упродовж 2023–2025 років спостерігається стрімке зростання наукового інтересу до тематики інтеграції генеративного штучного інтелекту в архітектурне проєктування, зокрема в поєднанні з параметричними інструментами, як-то Grasshopper та Rhino. У науковому середовищі зростає кількість досліджень, що розкривають можливості генеративних моделей, таких як Stable Diffusion, Midjourney та GPT-4, у створенні архітектурного образу, підтримці концептуального формотворення й оптимізації дизайнерських процесів. Так, наприклад, у статті М. Ші, Дж. Сео, С. Х. Ча «Generative AI-powered architectural exterior conceptual design based on the design intent» («Генеративний концептуальний дизайн архітектурного екстер'єру на основі штучного інтелекту, заснований на дизайнерському задумі») було представлено методику застосування дифузійних моделей, донавчених на архітектурних зображеннях, у комбінації з алгоритмом ControlNet. Завдяки поєднанню текстових описів та чорнових 3-D моделей автори досягли генерування екстер'єрів споруд, які відображали заданий архітектурний дизайн-намір і відповідали реальним вимогам замовника. Це підтверджує ефективність інтеграції генеративного ШІ у процеси концептуального проєктування та підкреслює можливість контролю результатів через врахування геометричних вхідних даних [2].

Дослідження «Using Text-to-Image Generation for Architectural Design Ideation» («Використання генерації тексту в зображення для створення архітектурних ідей»), авторства В. Паананена (V. Paananen), Й. Оппенлендера (J. Oppenlaender), А. Вісурі (A. Visuri), базується на експерименті із залученням студентів-архітекторів. Воно демонструє, що використання генеративних моделей (Midjourney, DALL·E, Stable Diffusion) значно розширює креативний простір у початковій фазі

проєктування, сприяє появі нетривіальних ідей та пришвидшує ітераційний процес прийняття рішень [3]. Особливо цінною виявилася здатність ШІ моделювати настрій, стилістику та атмосферу, що є важливим чинником під час ілюстрування композиційного задуму.

У статті Дж. Фенга та В. Яна «Generative AI for Visual Programming and Parametric Modeling» («Генеративна штучна інтелегенція для візуального програмування та параметричного моделювання») було проаналізовано платформу Text2VP, яка поєднує мовну модель GPT-4 із візуальним програмуванням у Grasshopper. Автори доводять можливість генерації параметричних графів та логічних структур за текстовими підказками. Це демонструє новий рівень автоматизації та скорочення бар'єрів для входу у складне параметричне моделювання [4]. Публікації на платформі Medium (Й. Ван, 2023) описують практичні кейси інтеграції Stable Diffusion у Grasshopper для створення ШІ-рендерів у режимі реального часу. Авторка демонструє, як такий підхід дає змогу отримати фотореалістичні або стилізовані зображення безпосередньо з параметричної геометрії, водночас не порушуючи її структури, що є реалізацією неструктурного дизайну [5].

Значна увага приділяється також формуванню «замкнутих» екосистем проєктування, які можуть бути доповнені інструментами ШІ. У роботі К. Комарова і Б. Казаряна (2023) розглянуто переваги використання технології Rhino.Inside.Revit, що поєднує алгоритмічне формотворення з BIM-моделюванням в одному середовищі. Такий підхід забезпечує безперервний робочий цикл, усуваючи проблеми несумісності форматів, і може слугувати основою для майбутньої інтеграції генеративного ШІ у BIM-платформи [6].

Висвітлені публікації засвідчують загальну тенденцію трансформації архітектурного проєктування в бік об'єднання візуального генеративного ШІ з параметричними інструментами. Дослідження підтверджують не лише високий творчий потенціал таких гібридних підходів, але й їхнє практичне значення у професійному середовищі. Зростаюча увага дослідників до цієї теми свідчить про потребу розроблення цілісної методології інтеграції AI-інструментів в архітектурне проєктування, орієнтованої на керованість, точність і неструктурність процесів.

Виклад основного матеріалу. Параметричне проєктування давно зарекомендувало себе як ефективний підхід до створення складних

архітектурних форм за допомогою алгоритмів та змінних параметрів. Воно дає змогу швидко генерувати ітерації та оптимізувати рішення під множинні вимоги. Важливою перевагою параметричного проектування є його неdestructивність: зміни параметрів не руйнують модель; вони автоматично породжують нові варіанти, що забезпечує гнучкість і швидке внесення правок. Як зазначають Г. Фенг (G. Feng) та В. Ян (W. Yan) у статті «Генеративна штучна інтелекція для візуального програмування та параметричного моделювання» («Generative AI for Visual Programming and Parametric Modeling»): «...адаптивний і неdestructивний процес параметричного моделювання дозволяє проводити швидкі ітерації та знижує вартість змін проекту» [4, с. 6].

Паралельно із розвитком алгоритмічного проектування, останнім часом стрімко прогресують засоби генеративного штучного інтелекту (Generative AI). Такі моделі, як Stable Diffusion, Midjourney, DALL-E, здатні генерувати зображення за текстовим описом або ескізом, навчаючись на великих масивах даних. Генеративний ШІ може автономно створювати новий контент, зокрема зображення, тексти, 3D-моделі, спираючись на вивчені патерни. В архітектурі ці інструменти все більше привертають до себе увагу як засіб швидкої візуалізації задумів. Дослідники відзначають, що прогрес у сфері «text-to-image» вже впливає на архітектурне проектування: генеративні моделі сприяють виникненню несподіваних ідей, формують у архітекторів емоційний стан, натхнення та збагачують творчий процес [4, с. 9]. Зокрема, результати експерименту, в якому взяли участь 17 студентів-архітекторів, підтвердили ідею про те, що використання Midjourney, Stable Diffusion та DALL-E на ранній стадії концептуального проекту підвищує креативність, за умов врахування заданих обмежень (Using Text-to-Image Generation for Architectural Design Ideation). Так, генеративні мережі можуть стати співавтором на етапі пошуку образу будівлі.

Натомість традиційний параметричний підхід оперує геометрією і числовими параметрами, але тільки в межах закладених алгоритмів. Він чудово оптимізує та варіює, але початковий образ все одно залежить від інтуїції архітектора. Алгоритмічний дизайн – це пошук рішень за допомогою перебору варіантів на основі заданих критеріїв і обмежень, натомість генеративний ШІ створює нові образи, навчаючись на даних (Generative AI vs. Generative Design in Architecture – Article | Parametric).

Обидва підходи мають спільну мету – відкриття нових рішень, але при цьому діють по-різному. В архітектурі назріває необхідність поєднання переваг обох: використати творчий потенціал ШІ там, де параметричні алгоритми не дають інтуїтивного різноманіття, і водночас зберегти точність та керованість параметричного моделювання. Виникає питання: яким чином інтегрувати генеративний ШІ у процес параметричного формотворення, щоби результати відповідали задуму і вимогам проекту, а сам процес залишався керованим і відтворюваним?

У традиційному процесі архітектурного формотворення параметричні методи забезпечують варіативність форми в межах визначених параметрів, а генеративні алгоритми – пошук найкращого візуального рішення за критеріями. Проте образність результатів цілком залежала від початково закладеної архітектором ідеї. Тепер же генеративний ШІ здатний пропонувати нові образи самостійно, виступаючи додатковим джерелом художньо-композиційних рішень (іл. 1).

Генеративний штучний інтелект в архітектурі найчастіше застосовується у вигляді сервісів під назвою «Текст-до-зображення». Архітектори формулюють вербальний опис бажаної атмосфери чи стилю, і нейромережа генерує серію візуалізацій. Описаний метод вже зарекомендував себе як корисний на ранніх стадіях концептуального проектування. Як показало дослідження В. Паананен, Дж. Оппенлендер, А. Бісупі «Using Text-to-Image Generation for Architectural Design Ideation» («Використання генерації тексту в зображення для створення архітектурних ідей»), використання Midjourney чи Stable Diffusion на етапі ескіз-ідеї збагачує уяву дизайнера, сприяє виникненню «щасливих випадковостей» у пошуку рішення й урізноманітнює ідейне поле (Using Text-to-Image Generation for Architectural Design Ideation) [2, с. 10]. Студенти-архітектори, залучені до експерименту, відзначили, що генеративні зображення допомагають їм побачити неочевидні варіанти форм і просторів, про які вони б інакше не подумали. Такий креативний імпульс особливо цінний під час роботи з композицією та ритмом, адже ШІ може запропонувати неочікувану структурну сітку фасаду, гру мас і прорізів, нову інтерпретацію тектоніки, лише з огляду на опис задуму.

Водночас повністю довіряти ШІ на цьому етапі не можна – модель генерує зображення без розуміння інженерних або функціональних вимог. Тому виникає необхідність інтегрувати ШІ

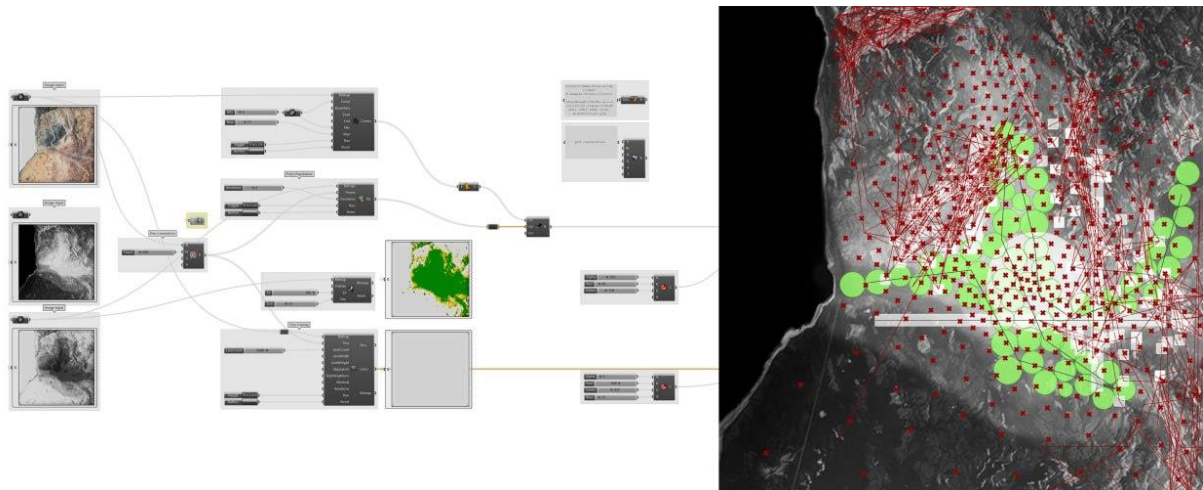
у межі параметричного проєкту: тобто зробити так, щоб неймережа працювала з цифровою 3D-моделлю будівлі в єдиній системі, а не автономно. Відповідно, архітектори шукають способи поєднання генерованих образів із конкретною формою, яку вони розробляють в Grasshopper або іншому середовищі.

Синергія генеративного ШІ та параметрики виявляється у двох напрямках:

1. Генеративний ШІ доповнює параметричну модель – дає змогу швидко отримати художньо опрацьовані варіанти вигляду на основі базової геометрії, створеної параметрично. Іншими словами, параметричне моделювання задає структуру, а ШІ накладає на неї образ. Такий підхід зберігає керованість: архітектор змінює параметри форми, і ШІ генерує для нової форми новий візуальний результат. Форма залишається під повним

контролем дизайнера, а ШІ економить час на створення ескізних рендерів і надає варіативності в стилістиці (іл. 2).

2. Генеративний ШІ розширює простір рішень для параметричного алгоритму – наприклад, текстові великі моделі (як GPT-4) можуть генерувати код або граф логіки для Grasshopper, автоматизуючи рутинні завдання чи пропонуючи незвичні алгоритмічні підходи. Так, дослідження Feng & Yan представило систему Text2VP, яка на основі опису завдання генерує готовий граф Grasshopper, включно з компонентами і зв'язками між ними. У тестах Text2VP GPT-4 успішно створював працездатні параметричні моделі, котрі відображали заданий дизайн-намір, даючи змогу користувачеві одразу змінювати параметри й отримувати варіанти форми [2, с. 12]. Хоча зі зростанням складності моделі з'являлися помилки, такий



Іл. 1. Ілюстрація алгоритму Grasshopper та похідного зображення, накладеного на висотну карту місцевості.
[Ілюстрація Д. Карандюка]



Іл. 2. Ілюстрація каталогу зображень, згенерованих ШІ, на основі похідного матеріалу та промту.
[Ілюстрація Д. Карандюка]

експеримент показав потенціал: невдовзі архітектор зможе описати бажану логіку формотворення, а ШІ автоматично налаштує Grasshopper-сценарій. Це також приклад, як генеративний ШІ підвищує гнучкість параметричного проектування, знижуючи поріг освоєння складних інструментів – дизайнер може не знати всіх нюансів програмування, досить лише коригувати згенерований сценарій під свої потреби.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що інтеграція генеративного штучного інтелекту з алгоритмічним дизайном формує ефективну взаємодію, здатну суттєво розширити межі архітектурної творчості. Як зазначається в оглядовій статті на порталі Parametric Architecture, синергія Generative AI та алгоритмічного підходу забезпечує архітекторам нові можливості для пошуку інноваційних рішень: поєднання генеративних механізмів створення образів із принципами ітеративної оптимізації сприяє швидкому генеруванню великої кількості варіантів і підвищенню ефективності процесу формотворення. Генеративний штучний інтелект надає процесу художньої виразності, тоді як параметричний метод гарантує відповідність результатів визначеним параметрам і забезпечує їхню практичну реалізованість [7].

Нижче розглянемо конкретні методи інтеграції, що вже існують, та їхній вплив на архітектурне формотворення. Одним з найпотужніших сучасних інструментів генерації зображень є Stable Diffusion (відкрита модель дифузійного рендерингу, яку можна запускати локально). На відміну від пропрієтарного сервісу Midjourney, Stable Diffusion доступна для налаштування і навіть донавчання під конкретні потреби. Це створило передумови для появи плагінів, що інтегрують її з CAD-програмами.

Для Rhino та Grasshopper розроблено кілька підходів прямого використання Stable Diffusion. Зокрема, існує репозиторій StableDiffusion-Grasshopper (Serjosch Düring, 2023), який пропонує скриптові рішення для зв'язку GH з нейромережею через сокети. «Stable Diffusion модель може бути застосована у режимі image-to-image, де текстовий prompt комбінується з допоміжним зображенням з в'юпорту Rhino», – пояснює автор плагіна [8]. Іншими словами, Grasshopper автоматично робить знімок в'юпорту Rhino (тобто поточного вигляду параметричної моделі), відправляє його в Stable Diffusion разом із текстовим описом потрібного стилю/настрою, і отримує на виході згенероване зображення. Даний процес

реалізовано асинхронно, щоб розрахунок зображення не пригальмовував роботу Rhino. Після генерації результат можна відобразити в інтерфейсі користувача Grasshopper (через компонент HumanUI).

Такий робочий цикл фактично перетворює Stable Diffusion на альтернативний «рушій рендерингу» для Rhino. Замість традиційного рейтрейсінгу чи в'юпортного рендера, користувач отримує високошвидкісний AI-рендер свого об'єкта. Даний рендер може бути виконаний у будь-якому стилі: від ескізної акварелі до фотореалістичного зображення, залежно від текстового промту. Це відкриває величезні можливості для концептуального опрацювання: маючи один і той самий параметрично змодельований об'єм будівлі, можна за секунди згенерувати, скажімо, варіант у стилі готичної архітектури, варіант ультрасучасного хай-теку зі скляними панелями, або біоморфну структуру з плавними лініями, просто змінюючи опис у prompt. Архітектор отримує набір візуалізацій, котрі допомагають оцінити, який напрямок розвитку форми найбільш вдалий композиційно і відповідає задумові.

Ключовим елементом такого підходу є використання режиму image-to-image у Stable Diffusion з додатковим компонентом ControlNet. ControlNet – це метод додавання умов (контурів, скелетів, карт глибини тощо) до дифузійної моделі, щоб та точніше відповідала формі вхідного зображення. У нашому випадку вхідне зображення – це рендер масингу з Rhino (можливо, силует або тіні від нього). Як зазначено в інструкції до інтеграції: «ControlNet – дуже корисний алгоритм image-to-image для Stable Diffusion, що дозволяє накласти image-control поверх текстових підказок». Тобто, якщо активувати ControlNet, можна, наприклад, передати нейромережі контур фасаду або карту глибини сцени з Rhino, і тоді згенероване зображення збереже ключові геометричні риси оригіналу (масштаб, пропорції, композицію мас). Це вирішує згадану проблему невідповідності: ШІ не «придумає» зайвих поверхів чи деформацій, а муситиме дотримуватися заданої структури.

Наукові дослідження підтверджують ефективність такого підходу. Згадані вище науковці М. Ши, Дж. Сео, С. Х. Ча у своїй роботі «Generative AI-powered architectural exterior conceptual design based on the design intent» («Генеративний концептуальний дизайн архітектурного екстер'єру на основі штучного інтелекту, заснований на дизайнерському задумі») запропонували якраз систему,

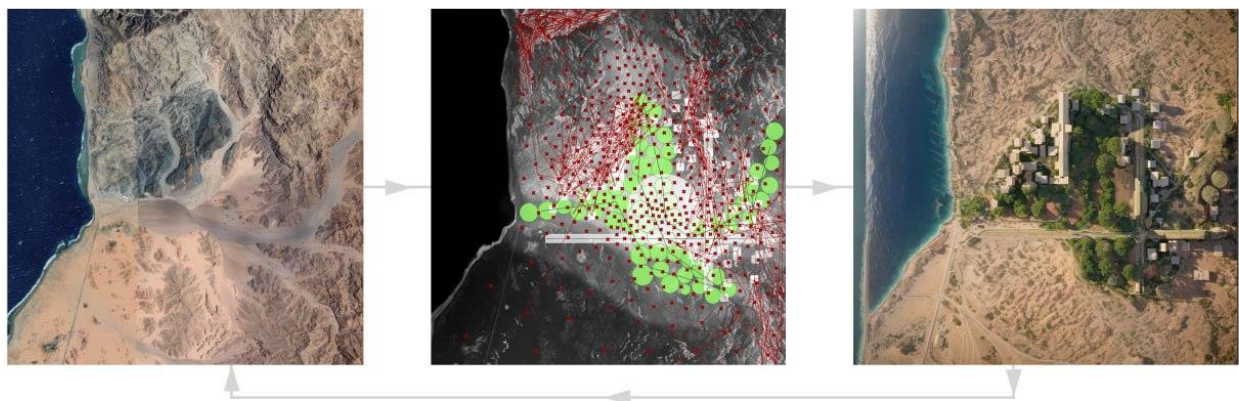
де стабільна дифузійна модель, донавчена на архітектурних зображеннях з анотаціями, поєднується з ControlNet для врахування ескізів. У їхньому експерименті нейромережа отримувала на вхід текстові описи (побажання замовника, стиль архітектури) та ескізний об'єм будівлі, і завдяки цьому генерувала зовнішній вигляд, що відповідав вимогам проєкту. Як зазначено у висновках, запропонований метод успішно генерує концептуальні зображення екстер'єру, які відповідають заданому архітектурному дизайн-намірові. Це істотний прорив: нейромережа перестає бути «чорною скринькою» з красивими, але випадковими картинками, натомість стає інструментом, налаштованим на реальний проєкт. Автори відзначають, що такий підхід прискорює трудомісткі ітеративні процеси концептуальної стадії. Замість того, щоб вручну створювати декілька варіантів фасаду, архітектор за короткий проміжок часу може отримати десятки ідей, згенерованих ШІ, відфільтрувати найцікавіші і на їхній основі доопрацювати параметричну модель (іл. 3) [2, с. 14].

Приклад практичного робочого процесу з використанням Stable Diffusion в Grasshopper можна побачити у вигляді MVP (minimal viable product), який описала дизайнерка Y. Wang (2023) [8, с. 4]. Вона розробила для архітекторів концепцію, коли на етапі формування об'ємного нарису будівлі (створеного в Grasshopper) одразу генеруються рендери цього об'єму в різних варіаціях через Stable Diffusion. «Ціннісна пропозиція – поєднати AI-генерацію зображень із процесом параметричного дизайну в Grasshopper... MVP складається з двох частин: налаштування Stable Diffusion webUI в Grasshopper та двох параметричних тулкітів для автоматичного фасаду/

плану... таким чином забезпечується інтерактивність між параметричною моделлю і рендерами на ранній стадії проєкту» [8, с. 6]. Фактично перша частина – це технічна інтеграція (зв'язок GH з дифузійною моделлю), а друга – приклад застосування: скрипти Grasshopper генерують, скажімо, різні патерни фасадних панелей на об'ємі, а Stable Diffusion одразу відображає, як ці патерни виглядатимуть у матеріалах, світлі та з деталями. Архітектор може швидко коригувати параметри (щільність панелей, висоту модулів тощо) й отримувати оновлені рендери, та повторювати ітерації для підбору збалансованої композиції.

Важливо відзначити, що увесь цей процес відбувається неструктурно для моделі. Параметрична модель (об'єм, фасадні елементи) продовжує існувати як набір геометричних об'єктів і залежностей у Grasshopper. Генеративний ШІ не вносить змін до цієї моделі – він лише зчитує її проєкцію (зображення) і створює на її основі новий шар інформації (художнє зображення). Таким чином, інтеграція зберігає переваги параметричного підходу – у будь-який момент можемо змінити форму (наприклад, висоту будівлі, кривизну фасаду) і провести генерацію зображення. Ланцюжок побудови форми залишається прозорим. AI-візуалізація відіграє роль швидкого попереднього перегляду дизайнерських рішень. Це є аналогом ескізного малюнка від руки, але виконаного миттєво і з фотореалістичною якістю.

Описаний принцип застосування генеративного ШІ підтримує загальний принцип ітеративності в параметричному дизайні. Якщо класичне алгоритмічне проєктування дає змогу перебирати варіанти форми (від більш високої до більш низької, від



Іл. 3. Ілюстрація замкнутого циклу ітеративного процесу проєктування з використанням параметричних інструментів та генеративного ШІ.
[Ілюстрація Д. Карандюка]

густішої структури до розрідженої тощо) з мінімальними витратами часу, то додавання AI-рендера дає змогу ще й швидко оцінити естетичні якості таких варіантів. Це суттєво прискорює зворотній зв'язок у процесі проєктування. Архітектор не витрачає години на підготовку сцени для рендера кожного варіанту – він бачить результат майже в режимі реального часу і може приймати рішення, спираючись на візуальну інформацію. Даний процес можна назвати спільним генеруванням (co-generation), де алгоритмічний компонент відповідає за раціональну структуру, а неймережевий – за художню інтерпретацію.

Альтернативним шляхом інтеграції є використання зовнішніх онлайн-сервісів, спеціально пристосованих для дизайнерів. Один з таких сервісів – Krea AI, який набув популярності серед промислових дизайнерів і архітекторів як інструмент для миттєвого створення рендерів з 3D-моделей. Основна ідея Krea AI – забезпечити простий конвеєр: користувач завантажує зображення зі свого 3D (наприклад, зображення з Rhino) і отримує стилізоване AI-зображення. Розробники позиціюють це як засіб саме для концептуальної фази.

Перевага сервісів на кшталт Krea – це мінімальні вимоги до локальних ресурсів. Не кожен користувач може запустити Stable Diffusion на своєму ПК (особливо з великими моделями або ControlNet, що потребують значного об'єму відеопам'яті GPU). Хмарні сервіси знімають це обмеження: вся важка обробка відбувається на сервері, а користувач отримує картинку через мережу Інтернет. Таким чином, інтеграція може бути здійснена навіть у вигляді простого інтерфейсу: натискання кнопки «Generative Render» у Grasshopper відправить дані в хмару і поверне результат. Поява таких сервісів вказує на основну тенденцію: для споживача найважливіше простота і швидкість, тож розробники пропонують варіант «запусти і користуйся» без складних налаштувань.

З точки зору архітектурного формотворення, Krea та подібні інструменти виконують ту саму функцію, що й локальна Stable Diffusion, – швидко додають реалістичності та варіативності до параметричної моделі. Це значно полегшує ухвалення композиційних рішень – користувач сприймає зображення цілісно, емоційно, і може краще оцінити тектоніку, гру світла і тіні, ритміку фасаду, коли бачить модель не як каркас, а як матеріалізований об'єкт. Наприклад, архітектор проєктує параметричну фасадну систему. Звичайний вигляд Rhino показує лише геометрію, і важко

увявити, як це виглядатиме з реальними матеріалами та в контексті. Застосувавши Krea чи Stable Diffusion, користувач одразу бачить фасад, скажімо, з бетонних модулів з фактурою, з реальними тінями від сонця, на тлі неба. Може виявитися, що запланований ритм надто монотонний або створює небажаний візуальний шум – і це стане очевидним лише на реалістичному зображенні. Тоді архітектор повертається до параметричної моделі, змінює крок чи форму модулів і знову запускає генерацію. Це і є неструктивний ітеративний процес, коли ІІІ не замінює проєктувальника, а швидко постачає йому наочний матеріал для аналізу та прийняття рішень [9].

Однією з принципових вимог сучасного цифрового проєктування є відтворюваність і гнучкість процесу. Параметричний метод з'явився саме як відповідь на негнучкість традиційного CAD, де кожна зміна вимагала переробки частини креслень. Алгоритмічне моделювання дало змогу створити модель, яка генерує варіанти під різні набори вхідних параметрів, економлячи час і даючи більше вибору. Щоб інтеграція генеративного ІІІ не суперечила цій філософії, вона теж повинна бути побудована за принципом неструктивного редагування.

Неструктивність у контексті дизайну означає, що жоден крок не скасовує попередньої роботи, а лише накладається поверх або паралельно, даючи змогу повернутися назад без втрат. В інтегрованому процесі це досягається розподілом ролей: параметрична модель генерує дані форми, а ІІІ-модель генерує дані образу (зображення, текстури). Такі два типи даних пов'язані, але незалежні. Зміна образу (наприклад, стилю рендера) не зачіпає геометричної бази, і навпаки – правка геометрії просто призведе до побудови нового образу, не потребуючи відтворення його вручну.

Тут можна провести аналогію з шаровою структурою у графічних редакторах (Photoshop тощо): параметрична модель – це «шар» форми, AI-рендер – шар ефектів. Таким чином, генеративний ІІІ, вбудований у Grasshopper, по суті виступає як ще один модуль у робочому процесі, який можна адаптивно переналаштувати.

Практичним підтвердженням неструктивності є досвід користувачів: інтеграція Stable Diffusion через GH-компонент Hops дає змогу виконувати генерацію асинхронно, тобто модель Grasshopper не зупиняється і не змінюється під час роботи ІІІ. У будь-який момент дизайнер може продовжувати правки в GH; нове зображення

просто прийде і замінить попереднє у вікні HumanUI. Це дуже відрізняється від, скажімо, використання Photoshop: коли архітектор використовує Photoshop, щоб допрацьовувати рендер, він фактично розгалужує процес – BIM-модель існує окремо, а зображення окремо. Подальші зміни плану чи фасаду вже не відобразяться на цьому зображенні автоматично. При застосуванні генеративного підходу зображення щоразу генерується заново від актуальної моделі, тож немає розходження версій. Описана узгодженість економить час і усуває можливу проблему виробничого процесу: невідповідність між презентаційними матеріалами і робочими кресленнями та поточними 3D моделями.

Варто також зауважити, що неструктивний підхід сприяє накопиченню та повторному використанню напрацювань. Наприклад, якщо створено GH-скрипт та III-компонент для генерації певного типу фасадів, це можна оформити як готову складову у вигляді компонента-кластера в Grasshopper і застосовувати в різних проєктах, налаштовуючи параметри. Згодом архітектурна майстерня може мати бібліотеку таких «розумних» генераторів: для різних тектонік, ритмів, структур, котрі пришвидшать генерацію концептів під конкретні вимоги. Це вписується у філософію параметричного дизайну щодо автоматизації рутини і прискорення дослідження дизайн-простору.

Таким чином, інтеграція III-інструментів візуалізації в середовище параметричного дизайну може доповнювати замкнуту екосистему робочих інструментів. Концепція замкнутої екосистеми (closed ecosystem) у цифровому проєктуванні означає, що різні інструменти й етапи роботи об'єднані у межах єдиного інтегрованого середовища, без розривів і потреби конвертації даних. Для архітектури це дуже актуально, адже типовий проєкт проходить через багато програм: моделювання, аналіз, BIM, візуалізація, виготовлення деталей тощо. Відповідно, якщо всі ці завдання виконуються ізольовано, це неефективно.

В даному випадку ефективним рішенням є технологія Rhino.Inside від компанії McNeel, що дає змогу запускати Rhino та Grasshopper всередині інших середовищ. Найпопулярніша реалізація – Rhino.Inside.Revit, місток між параметричним моделюванням і BIM-платформою Revit. У контексті нашої теми – це гарний приклад, як інтеграція створює замкнутий цикл: архітектор може розробляти форму алгоритмічно й одразу бачити/оформлювати її у BIM, не експортуючи

вручну і не перебудовуючи модель. «Rhino.Inside.Revit – це місток, що поєднує дві програми Rhino і Revit, які можуть працювати всередині середовища одна одної» – підкреслюють К. Комаров і Б. Казарян (2023) у своїй статті [6, с. 6].

Практично Rhino.Inside дає інструментарій для усунення розриву між моделюванням довільної форми в Rhino та BIM-світом. Grasshopper, зі всією його багатогою екосистемою плагінів, стає доступним прямо в Revit. Це означає, що алгоритми можуть створювати нативні BIM-об'єкти, або навпаки – отримувати дані з BIM для генеративного аналізу. Вже цей крок економить час і гарантує точність: «...всі дані передаються без втрат, оскільки весь процес відбувається в одному середовищі... це заощаджує час і забезпечує максимальну точність при перенесенні моделі з одного середовища в інше» [6, с. 3]. У традиційному процесі під час експорту-імпорту часто зникають дрібні деталі, виникають помилки геометрії, несумісності; Rhino.Inside усуває описані проблеми.

Важливо, що принцип Rhino.Inside можна поширити і на інтеграцію III. Фактично, коли ми запускаємо генеративний III всередині Grasshopper, ми теж реалізуємо Rhino.Inside підхід: замість того, щоб переходити в окремий застосунок (наприклад, відкривати веб-інтерфейс Stable Diffusion або Discord для Midjourney), отримуємо результат безпосередньо у своєму «рідному» вікні. Це робить екосистему Grasshopper більш замкнутою, додаючи до неї нову функцію – генеративну графіку. Користувач залишається у межах одного середовища GH для виконання всіх завдань від генерації об'ємів до візуалізації та аналізу.

Замкнутість процесу дає ще один бонус: ефективний зворотний зв'язок від замовників і команди. Якщо всі матеріали проєкту синхронізовані, можна швидко реагувати на зауваження. У підсумку проєкт може пройти більше циклів «проба-помилка» за той самий час, надаючи можливість отримати більш оптимізоване, опрацьоване рішення із залученням менших ресурсів – що і є кінцевою метою впровадження нових технологій.

Хоча інтеграція генеративного III у параметричне середовище відкриває нові можливості для автоматизації та творчої взаємодії, вона водночас актуалізує низку технічних і методологічних проблем. Коли параметричне середовище намагається взаємодіяти з генеративним III, виникають питання сумісності форматів, структури даних та

принципів їх обробки [9]. Ці розбіжності визначають межі інтеграції двох підходів і впливають на ефективність спільного використання алгоритмічних і генеративних інструментів у межах єдиної цифрової екосистеми.

Висновки і перспективи використання результатів дослідження. Інтеграція генеративного штучного інтелекту з параметричним проєктуванням в архітектурі відкриває новий вимір можливостей для формотворення і дизайну композиції. Проведений аналіз показує, що генеративний ШІ здатний суттєво розширити творчий пошук на концептуальній стадії, пропонує багатство варіантів образів та стилістичних рішень на основі однієї алгоритмічно згенерованої форми. Водночас критично важливо вбудувати такі можливості у кероване, неструктивне русло параметричного процесу, щоб зберегти точність і відповідність проєктним вимогам.

Сучасні реалізації, зокрема запуск Stable Diffusion всередині Grasshopper з використанням ControlNet для контролю форми, демонструють життєздатність підходу. Архітектор отримує інструмент миттєвої візуалізації параметричної моделі у різних стилях, що дає змогу оперативно оцінювати ідеї, коригувати композицію, ритм, тектоніку. Досвід застосування показує, що цей процес дійсно є інтерактивним та гнучким: параметрична модель слугує надійним каркасом, а ШІ-наповнення – легкозмінним шаром. Неструктивний характер інтеграції підтверджується тим, що жодна стадія не «відміняє» попередню: зміни можуть вноситися як у геометрію, так

і в AI-стиль незалежно, і все автоматично узгоджується в єдиному результаті.

Особливо перспективним є створення замкнутих екосистем проєктування, де генеративний ШІ інтегровано нарівні з BIM та іншими компонентами. Приклад Rhino.Inside показує, наскільки продуктивним може бути з'єднання різнорідних платформ. Аналогічно, включення AI-генерації у таке середовище дає змогу отримати безперервний процес від параметричного ескізу до презентації: Grasshopper генерує форму, Revit одразу інтерпретує її як BIM-об'єкт, а нейромережа формує візуалізацію для обговорення – усе це в режимі реального часу. Користувач отримує значну користь завдяки підвищеній швидкості і гнучкості роботи.

Необхідно наголосити на тому, що генеративний штучний інтелект не є заміною архітектора, а виступає новим інструментом, який розширює його професійні можливості. Параметричне проєктування вже трансформувало роль архітектора, змістивши акцент із безпосереднього формотворення на управління алгоритмами та правилами побудови архітектурної форми. Інтеграція генеративних моделей штучного інтелекту доповнює цей підхід, розширюючи сферу діяльності архітектора функціями куратора художніх образів, що пропонуються моделлю ШІ. Таким чином, синтез параметричного та генеративного підходів постає перспективним напрямом розвитку архітектурної практики, який уже сьогодні демонструє відчутні результати та має значний потенціал подальшого вдосконалення.

Список використаних джерел

1. Hatch Duo. AI in Design: Combining Rhino3D with Krea for Concept Rendering, 2024. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Z9n0RA5Nd2Q> (дата звернення: 22.04.2025).
2. Shi M., Seo J., Cha S. Generative AI-powered architectural exterior conceptual design based on the design intent. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2024. Т. 11, № 5. С. 125–142.
3. Paananen V., Oppenlaender J., Visuri A. Using text-to-image generation for architectural design ideation. *International Journal of Architectural Computing*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1177/14780771231222783> (дата звернення: 20.05.2025).
4. Feng G., Yan W. Generative AI for Visual Programming and Parametric Modeling. *Department of Architecture, Texas A&M University*. С. 1–17.
5. Ambrosini L. StabilityAI (Stable Diffusion) inside Grasshopper with Python. *Medium*. URL: <https://lucianoambrosini.medium.com/stabilityai-stable-diffusion-inside-grasshopper-with-python-770226f3c7f7> (дата звернення: 30.05.2025).
6. Комаров К., Казарян Б. Оптимізація розробки студентських архітектурних проєктів за допомогою технології RHINO.INSIDE®.REVIT. *Українська академія мистецтв*. 2023. № 33. С. 17–24. URL: <https://doi.org/10.32782/2411-3034-2023-33-2> (дата звернення: 30.03.2025).
7. Generative AI vs. Generative Design in Architecture – Article | Parametric. *Generative Design Tools and Solutions | Parametric*. URL: <https://www.parametric.se/post/generative-ai-vs-generative-design> (дата звернення: 30.03.2025).
8. GitHub – SerjoschDuering/StableDiffusion-Grasshopper: A slightly modified version of InvokeAI: A Stable Diffusion Toolkit / CompVis/stable-diffusion where the stable diffusion model can be connected to grasshopper (or anything else) through sockets. *GitHub*. URL: <https://github.com/SerjoschDuering/StableDiffusion-Grasshopper> (дата звернення: 30.05.2025).

9. Нестеренко, В., & Давидов, А. (2025). Досвід та засоби параметричного проектування житлових будівель. *Вісник Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури*, (3), 49–59. <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2025-3-6>

References

1. Hatch Duo. AI in Design: Combining Rhino3D with Krea for Concept Rendering, 2024. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Z9n0RA5Nd2Q> [in English].
2. Shi M., Seo J., Cha S. Generative AI-powered architectural exterior conceptual design based on the design intent. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2024. T. 11, № 5. C. 125–142 [in English].
3. Paananen V., Oppenlaender J., Visuri A. Using text-to-image generation for architectural design ideation. *International Journal of Architectural Computing*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1177/14780771231222783> [in English].
4. Feng G., Yan W. Generative AI for Visual Programming and Parametric Modeling. *Department of Architecture, Texas A&M University*. C. 1–17. [in English].
5. Ambrosini L. StabilityAI (Stable Diffusion) inside Grasshopper with Python. *Medium*. URL: <https://lucianoambrosini.medium.com/stabilityai-stable-diffusion-inside-grasshopper-with-python-770226f3c7f7> [in English].
6. Komarov, K., & Kazaryan, B. (2023). Optymizatsiia rozrobky studentskykh arkhitekturnykh proiektiv za dopomohoiu tekhnolohii Rhino.Inside®.Revit [Optimization of the development of studentarchitectural projects using Rhino.Inside®.Revit technology]. *Zbirnyk naukovykh prats «Ukrainska akademiia mystetstva» – Collection of scientific works “Ukrainian Academy of Art”*, (33), 17–24. Retrieved from: <https://journals.naoma.kyiv.ua/index.php/uam/article/view/31> [in Ukrainian].
7. Generative AI vs. Generative Design in Architecture - Article | Parametric. *Generative Design Tools and Solutions | Parametric*. URL: <https://www.parametric.se/post/generative-ai-vs-generative-design> [in English].
8. GitHub – SrjoschDuering/StableDiffusion-Grasshopper: A slightly modified version of InvokeAI: A Stable Diffusion Toolkit / CompVis/stable-diffusion where the stable diffusion model can be connected to grasshopper (or anything else) through sockets. *GitHub*. URL: <https://github.com/SerjoschDuering/StableDiffusion-Grasshopper> [in English].
9. Nesterenko, V., Davydov, A. (2025). Dosvid ta zasoby parametrychnoho proyektuvannya zhytlovykh budivel. *Visnyk Natsional'noyi akademii obrazotvorchoho mystetstva i arkhitektury*, (3), 49–59. <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2025-3-6> [in Ukrainian].



Подано до редакції 22.08.2025

Статтю прийнято 27.09.2025

Опубліковано 31.10.2025