



DOI <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2025-3-6>

УДК 728.1

ORCID ID: 0009-0000-5560-1258

ORCID ID: 0000-0003-2009-1491

В'ячеслав Нестеренко

*здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
vicheslav.nesterenko@naoma.edu.ua*

Анатолій Давидов

*кандидат архітектури, доцент,
завідувач кафедри архітектурного проєктування,
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
anatoliy.davydov@naoma.edu.ua*

ДОСВІД ТА ЗАСОБИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Анотація. *Метою цієї статті* є аналіз досвіду параметричного проєктування житлових будівель і визначення засобів, що забезпечують оптимізацію житлового простору на основі алгоритмів, побудованих за системою якісно визначених параметрів. Цей метод дає змогу, шляхом зміни геометричних, інженерних, психологічних та інших параметрів, вдосконалювати й оптимізувати як планувальні, так і естетичні рішення. У роботі досліджено можливості та перспективи застосування параметричного проєктування у створенні житлових будинків і житлових комплексів. Вивчено історичний розвиток методу параметричного проєктування та його ключові переваги, зокрема адаптивність, автоматизацію, інтеграцію з іншими технологіями й інноваційними підходами до проєктування. Також визначено основні засади створення алгоритмів формування житлових просторів, які забезпечують оптимальні функціональні та естетичні рішення. **Методи дослідження** охоплюють аналіз наукових праць, практичного досвіду проєктування та будівництва, збирання фактів, опис і узагальнення. Це дозволяє отримати необхідну первинну інформацію для систематизації процесів, висвітлених у наукових джерелах, і зосередити увагу на ключових аспектах дослідження. **Результати дослідження** відкривають нові перспективи для архітектурного проєктування житлової забудови завдяки використанню методів параметричного проєктування та алгоритмічних систем, що сприяє оптимізації як самого процесу проєктування, так і планувальних рішень. **Висновки.** Інноваційні підходи, зокрема методи параметричного проєктування із застосуванням алгоритмів, побудованих на системі якості параметрів, відкривають нові можливості для вдосконалення планувальних рішень. Вони дають змогу комплексно враховувати вимоги безпеки, інклюзії, ергономіки, енергоефективності, конструктивних особливостей та психологічного комфорту.

Ключові слова: архітектура, житлова будівля, житловий простір, архітектурно-планувальне рішення, функціонально-планувальна організація, параметричне моделювання, алгоритм, Rhino, Grasshopper.

Viacheslav Nesterenko

*Second-year Student of Master's Program
National Academy of Fine Arts and Architecture
vicheslav.nesterenko@naoma.edu.ua*

Anatoliy Davydov

*PhD in Architecture, Associate Professor,
Head of the Department of Architectural Design
National Academy of Fine Arts and Architecture
anatoliy.davydov@naoma.edu.ua*

EXPERIENCE AND TOOLS FOR PARAMETRIC DESIGN OF RESIDENTIAL BUILDINGS

Abstract. *The purpose of this article* is to analyze the experience of parametric design of residential buildings and determine the means that ensure the optimization of living space based on algorithms built on the quality system of parameters. This method allows, by changing geometric, engineering, psychological and other parameters, to

improve and optimize both planning and aesthetic solutions. The paper explores the possibilities and prospects for the application of parametric design in the creation of residential buildings and complexes. The historical development of the method, its key advantages, in particular adaptability, automation, integration with other technologies and innovative approaches to design, are studied. The basic principles of creating algorithms for the formation of living spaces that provide optimal functional and aesthetic solutions are determined. **The research methods** include the analysis of scientific research, design and construction experience, collection of facts, description and generalization, which allows to obtain the necessary primary information for systematizing the processes covered in scientific articles, and focus on key aspects of the study. **The results of the study** open up new prospects for the architectural design of residential buildings, using methods and tools of parametric design and a system of defined algorithms, which contributes to the optimization of the design process and planning decisions. **Conclusions.** Innovative design methods, namely parametric design methods using algorithms built on a quality parameter system, provide an opportunity to improve planning decisions, take into account as many requirements as possible for safety, inclusion, ergonomics, energy efficiency, constructive solutions and psychological comfort.

Key words: architecture, residential building, living space, architectural and planning decision, function and planning organization, parametric modeling, algorithm, Rhino, Grasshopper.

Постановка проблеми. Сучасні підходи до проєктування житлового середовища потребують адаптації до різноманітних потреб користувачів, зокрема функціональних, безпекових, ергономічних, психологічних та естетичних. Традиційні методи архітектурного проєктування не завжди забезпечують достатню гнучкість і персоналізацію житлового простору – важливі складові комфортного й ефективного середовища, що відповідає принципам сталого розвитку архітектури. Параметричне проєктування, засноване на алгоритмічних методах генерації форм і конфігурацій, дає змогу створювати адаптивні житлові простори з урахуванням різноманітних чинників та параметрів. Проте, незважаючи на очевидні переваги цього підходу, його використання в практиці проєктування та будівництва житлових будівель залишається обмеженим і потребує подальших досліджень.

Швидкий розвиток методів параметричного проєктування створює нові можливості в архітектурі, які ще недостатньо досліджені, але є перспективними та інноваційними, особливо в контексті житлового будівництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом активізувався пошук нових прийомів і методів параметричного проєктування, а також створення алгоритмів, спрямованих на оптимізацію вимог до формування житлового простору. Зокрема, низка досліджень присвячена використанню алгоритмічного моделювання для створення житлових середовищ, здатних змінювати свої параметри та характеристики відповідно до потреб мешканців. Останні наукові роботи акцентують увагу на важливості впровадження цифрових технологій і штучного інтелекту для розробки адаптивних архітектурних рішень. В українському науковому просторі також з'являються публікації, які підкреслюють актуальність і перспективність

застосування новітніх методів проєктування. У статті «Оптимізація розробки студентських архітектурних проєктів за допомогою технології Rhino.Inside®.Revit», авторами якої є К. Комаров та Б. Казарян, розглянуто принципи створення курсових та конкурсних архітектурних проєктів із використанням поєднання параметричного та інформаційного моделювання (BIM). Результати дослідження підтверджують, що застосування цього підходу дає змогу студентам оптимізувати витрати часу та підвищити естетичний рівень графічної презентації [1]. Як продовження цієї теми можна навести приклад статті «Переваги та перспективи використання Rhino.Inside». Автори статті, В. Нестеренко та А. Давидов, у висновках зазначили, що розвиток поєднання методів параметричного проєктування та BIM-моделювання може призвести до більш органічної, стійкої та індивідуалізованої архітектури. Це передбачає використання параметричного проєктування для створення будівель, що відповідають індивідуальним потребам користувачів [2].

Крім того, значна увага приділяється питанням забезпечення принципів сталого розвитку, зокрема питанням безпеки, ресурсозбереження, енергоефективності та універсальності архітектури. Такі принципи спрямовані на створення середовища, доступного для всіх категорій населення. У світовій практиці параметричні методи проєктування все частіше застосовують для створення модульних житлових систем, які дають змогу змінювати конфігурацію приміщень відповідно до індивідуальних потреб.

У статті «Параметричний метод нормування та підготовка архітекторів в сучасних умовах», авторами якої є Максим Омеляненко та Марина Омеляненко, розглядається впровадження параметричних методів у навчальний процес архітекторів. Автори наголошують на важливості

критичного осмислення нормативних вимог та їхньої адаптації до сучасних проєктних рішень. Використання параметричних інструментів дає змогу студентам глибше розуміти функціональні вимоги та критерії до об'єктів проєктування, що сприяє формуванню більш гнучких і ефективних проєктних рішень [3].

На конференції «POLIT. Challenges of Science Today» було представлено доповідь А. Товкун, присвячену перспективам розвитку параметричної архітектури. Учасники обговорювали потенціал застосування параметричних методів для створення складних геометричних форм та оптимізації функціональних характеристик будівель. Зокрема, параметричне проєктування дає можливість інтегрувати екологічні та енергоефективні рішення на ранніх етапах розробки проєкту, що є надзвичайно важливим для сучасного житлового будівництва [4].

Наукова робота «Методологія створення міського планування: новий підхід, заснований на генеративному проєктуванні» присвячена застосуванню генеративного проєктування в міському плануванні. Автори статті Ігнасіо Перес-Мартінес, Марія Мартінес-Рохас та Хосе Мануель Сото-Ідальго досліджують, як цифрові технології можуть покращити традиційні методи проєктування, зробивши їх більш автоматизованими та ефективними. Запропонована методологія передбачає використання спеціалізованого програмного забезпечення, яке працює з 3D-моделями міст і враховує вимоги планувальників та місцеві містобудівні норми. Основна ідея роботи полягає в тому, щоб змінити роль проєктувальника міст: замість того, щоб самостійно розробляти концепції, він взаємодіє з програмою, яка автоматично генерує та аналізує різні варіанти забудови. Це допомагає швидше оцінювати можливі рішення та коригувати проєкт відповідно до потреб. Методологія була протестована на прикладі міста Відень, де автори моделювали кілька варіантів міського планування. Це дослідження демонструє потенціал генеративного проєктування у створенні оптимізованих містобудівних рішень, що можуть адаптуватися до різних вимог та обмежень.

Однак, незважаючи на активний розвиток параметричного проєктування, його застосування саме у сфері житлового будівництва залишається недостатньо дослідженим та систематизованим, що вказує на необхідність подальшого наукового аналізу та розробки методик, які дадуть змогу ефективно впроваджувати параметричні підходи

у створення комфортного, функціонального та адаптивного житлового простору.

Виклад основного матеріалу. Параметричне проєктування є новітнім підходом в архітектурі, який дає змогу переосмислити традиційні методи проєктування житлових та громадських будівель і споруд. Такий метод ґрунтується на використанні математичних моделей, алгоритмів та параметрів, що дає змогу створювати динамічні, інтерактивні проєкти, здатні легко адаптуватися до змінних умов.

«Параметричний» є похідним від слова «параметр», яке, своєю чергою, походить від грецьких слів «para», що означає «допоміжний» або «поруч», і «metron», що означає «вимірювання». У математиці параметр визначається як «змінна, яка використовується для опису інших змінних або процесів. Це число, значення якого визначає поведінку функції або математичної формули». Тобто, простими словами, це числові значення, які визначають характеристики проєкту, такі як розміри, форми, матеріали та просторові відносини. Змінюючи параметри, можна генерувати безліч варіантів проєктних рішень, що дає змогу архітекторам експериментувати та оптимізувати рішення. Під час додавання параметрів створюється ланцюжок з кількома змінними, який називається алгоритмом (іл. 1), що виконується над параметрами для створення геометричної моделі [5].

Алгоритми дають змогу автоматизувати рутинні завдання та створювати складні геометричні форми, які було б важко отримати за допомогою традиційних методів. В результаті такої роботи створюється математична модель – абстрактне представлення реальних об'єктів та процесів за допомогою математичних формул і рівнянь.

Використання такого методу має низку переваг перед традиційними методами, зокрема: гнучкість – можливість легко вносити зміни в проєктну документацію шляхом зміни значень параметрів; автоматизацію рутинних завдань, що скорочує час проєктування та зменшує кількість помилок; створення складних і нестандартних форм, які важко отримати традиційними методами; а також можливість аналізувати різні варіанти проєкту та обирати оптимальне рішення за заданими критеріями. Параметричні методи легко інтегруються з іншими технологіями, такими як BIM (Building Information Modeling) та алгоритмічний дизайн.

Параметричне проєктування дає змогу створювати структури, які ідеально вписуються в конкретний контекст, чи то міський пейзаж, природне оточення чи функціональні вимоги. Кожна

будівля стає унікальним твором мистецтва, створеним спеціально для своїх користувачів. Завдяки параметрам будівлі можуть адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища, таких як клімат, сонячна радіація або навіть зміни в потребах користувачів. Це забезпечує довготривалу актуальність і ефективність будівель [6].

Параметричне проєктування дає змогу створювати нестандартні, органічні форми, які раніше були недоступні за допомогою традиційних методів. Це відкриває нові можливості для створення динамічних і візуально привабливих просторів. Алгоритми можуть імітувати природні процеси, такі як ріст рослин або формування кристалів, що уможливорює створення будівлі з естетикою, натхненною природою. За допомогою параметричного моделювання можна точно розрахувати оптимальну орієнтацію будівлі, розміщення вікон та інших елементів, що впливають на енергоефективність. Параметричний метод проєктування дає змогу створювати легкі та ефективні конструкції, що зменшують витрати матеріалів та енергії на будівництво. Ці моделі об'єднують в собі всю інформацію про будівлю, від архітектурних рішень до інженерних систем. Це допомагає всім учасникам проєкту працювати в єдиному інформаційному просторі, що покращує координацію та зменшує кількість помилок. Параметричне проєктування легко інтегрується з технологіями віртуальної та доповненої реальності, що дає змогу створювати більш інтерактивні та реалістичні візуалізації проєкту [7].

Не менш важливими чинниками є автоматизація рутинних завдань, завдяки чому вдається значно скоротити час, необхідний для розробки проєкту. Програмне забезпечення, розроблене для параметричного методу проєктування, забезпечує високу точність розрахунків, що зменшує ризик помилок на етапі будівництва. Для архітекторів та замовників такий метод може бути більш доцільним завдяки легкості змін варіантів та експериментів, що сприяє розвитку креативних рішень.

Параметричне проєктування – це нова технологія в архітектурі, яка дає змогу створювати більш індивідуальні, ефективні та естетично привабливі будівлі. Завдяки цьому методу архітектура стає більш динамічною, адаптивною та інтегрованою.

Хоча термін «параметричне проєктування» з'явився відносно нещодавно, ідеї, що лежать в його основі, мають давню історію. Антична архітектура Давньої Греції, а згодом і Риму, використовувала математичну систему пропорцій між

елементами конструкцій для досягнення гармонійних пропорцій всієї будівлі. Ці принципи втілювалися у створення закону співвідношення частин і цілого, це був «ордер», як алгоритм краси та гармонії, який можна було використовувати для всіх типів будівель та споруд.

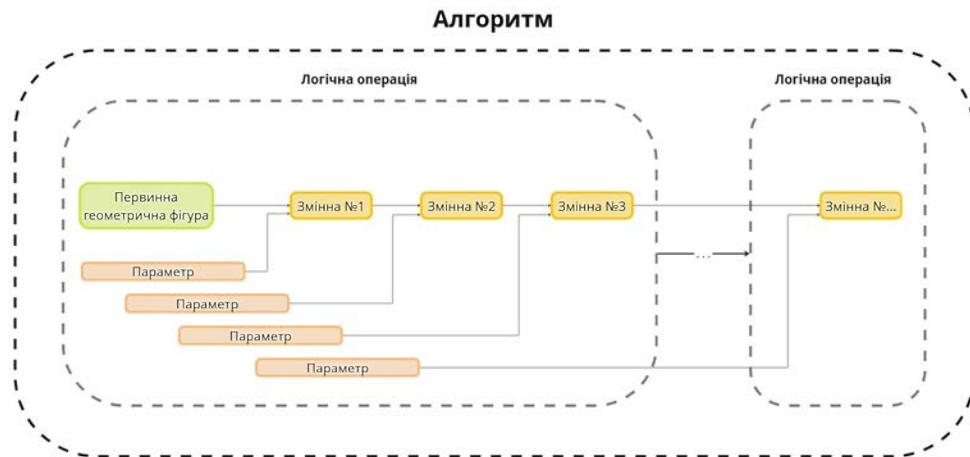
Під впливом технологічного прогресу та появи нових матеріалів і технологій архітектори отримали ширші можливості для експериментів із формами та конструкціями. Проте процес проєктування тривалий час залишався переважно ручним і трудомістким. З появою комп'ютерів з'явилась можливість автоматизувати розрахунки та створювати складні геометричні моделі. Перші CAD-системи давали змогу створювати двовимірні креслення, а згодом – і тривимірні моделі. Розвиток спеціалізованого програмного забезпечення, такого як Grasshopper, Rhino та Revit, ознаменував перехід від традиційного моделювання до параметричного проєктування, у якому форма будівлі визначається не фіксованими елементами, а змінними параметрами [8].

Ключові етапи еволюції:

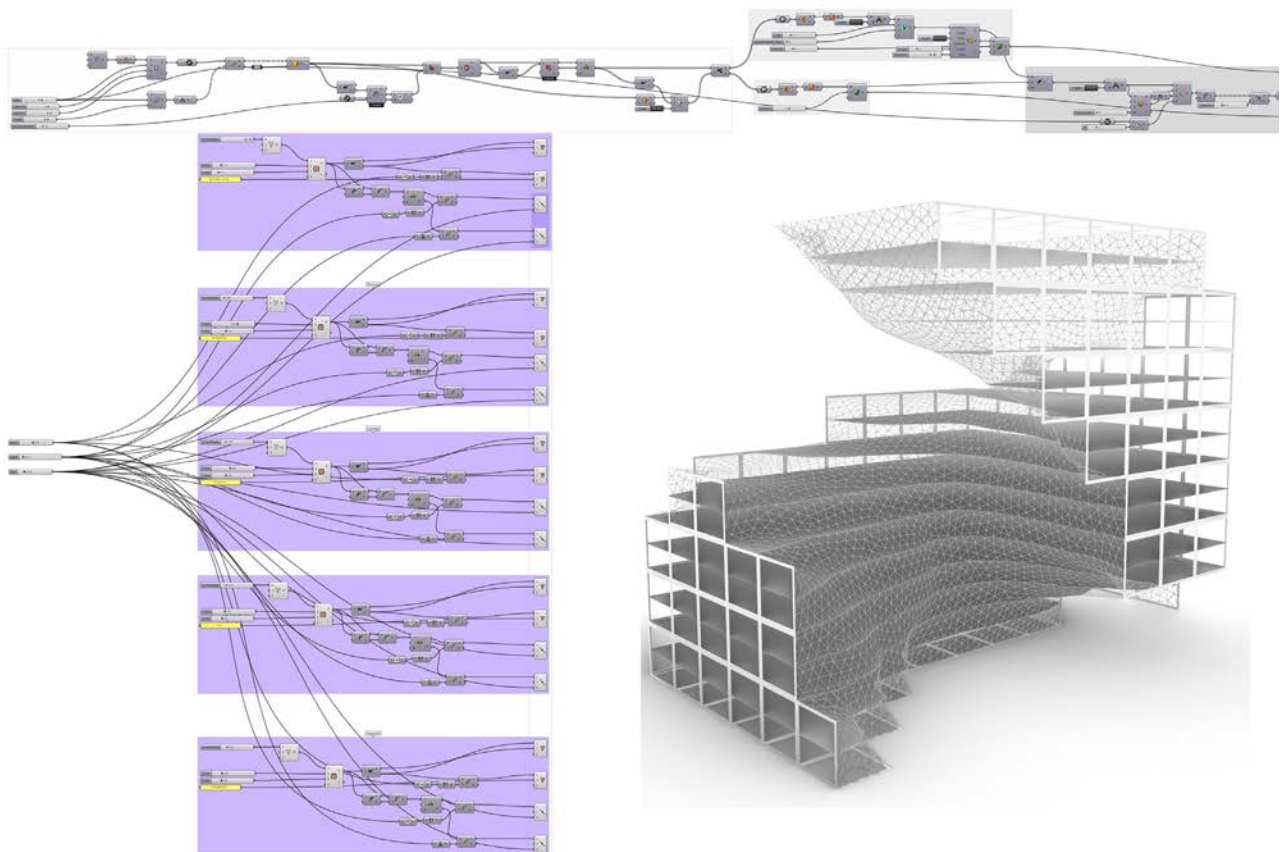
середина XX століття: поява перших комп'ютерних систем для архітектурного проєктування;

- *1960-ті роки:* розробка алгоритмів для генерації складних геометричних форм;
- *1980-ті роки:* поява перших комерційних програм для параметричного моделювання;
- *1990-ті роки:* інтеграція параметричного моделювання з BIM-системами;
- *2000-ті роки:* широке розповсюдження параметричного проєктування в архітектурі, поява нових програм і методів;
- *2010-ті роки:* розвиток та вдосконалення програмного забезпечення і нових методів архітектурного проєктування.

Сьогодні параметричне проєктування активно застосовується в архітектурі для створення складних і витончених форм, оптимізації енергоефективності будівель, конструктивних систем, а також для розробки індивідуальних житлових і громадських просторів. Інноваційні технології трансформують архітектурну сферу. Параметричне проєктування, як ніколи раніше, дає змогу архітекторам виходити поза межі уявного й створювати будівлі, що вражають своєю красою та функціональністю. Найголовніше – цей метод дає змогу оптимізувати вимоги завдяки системі алгоритмів і суттєво впливає на якість планувальних та інженерних рішень.



Іл. 1. Спрощена діаграма ілюстрації алгоритму Grasshopper. [Робота В. Нестеренка]



Іл. 2. Приклад алгоритму Grasshopper. [Робота В. Нестеренка]

Практика використання параметричного проектування в реальному проектуванні та будівництві житлових комплексів підтверджує вищесказане. Завдяки застосуванню алгоритмів були збудовані такі відомі архітектурні комплекси, як «The Interlace» у Сингапурі та «Mountain Dwellings» у Копенгагені. Ці два проекти різняться

за масштабами, проте їхня структурна організація сформована саме завдяки алгоритмічному розташуванню окремих блоків.

Житловий комплекс «The Interlace» (іл. 3) у Сингапурі, розроблений архітектурною студією OMA під керівництвом О. Шесрена, був реалізований у 2007–2013 роках. Його планувальна



Іл. 3. Житловий комплекс «The Interlace». Сингапур. [9]

організація запропонувала радикально новий підхід до міського житла. Використовуючи алгоритми для модульного компонування блоків, проєкт забезпечив відкриті простори та природне провітрювання. «The Interlace» здобув міжнародне визнання, отримавши титул «Будівля року» на World Architecture Festival у 2015 році за інноваційний підхід до житла в густонаселених тропічних регіонах [9].

Інший приклад – «Mountain Dwellings» (іл. 4), інноваційний житловий комплекс у районі Ørestad міста Копенгаген, створений студією Bjarke Ingels Group (BIG) у співпраці з JDS Architects. Завершений у 2008 році, він отримав численні нагороди, зокрема премію World Architecture Festival Award у категорії «Житло» того ж року. Комплекс демонструє параметричний підхід до проектування адаптивних структур, які гармонійно вписуються в міське середовище та забезпечують комфорт мешканцям [10].

Відома велика кількість проєктів соціального житла. Такий тип забудови вирізняється тим, що проектування здійснюється з урахуванням визначених параметрів, що відповідає алгоритмічному підходу. Як приклад можна навести два проєкти, які, хоч і не були створені за допомогою методу параметричного проектування, проте мають структуру, побудовану на чіткій системі визначених параметрів.

Показовим проєктом соціального житла та інкрементальної архітектури є житловий комплекс «Viviendas Villa Verde» (іл. 5), створений архітектором А. Аравеною. Його творчість була високо оцінена – у 2016 році він отримав Пріцкерівську премію. Проєкт передбачає двоповерхові рядні будинки, у яких мешканець отримує половину забудовного об'єму з простою, але якісною внутрішньою обробкою. Початкова площа кожного блоку становить 57 м^2 , а після добудови прибудов може досягати 85 м^2 . Фундаментальний внесок полягає в тому, що конструкція постачається майже повністю в завершеному стані (спільні розділові стіни, двосхилий дах, нижній поверх і балки для плити першого поверху), залишаючи мешканцям завдання зробити лише одну плиту та дві зовнішні вертикальні панелі. Крім того, спираючись на позитивний досвід інших спільних проєктів, було організовано навчальні та консультаційні семінари щодо реалізації розширень [11].

Іншим прикладом будівництва соціального житла є квартал «Zwicky-Süd» (іл. 6), зведений у місті Дюбендорф, Швейцарія (ареал Цвікі). У цьому випадку соціальне житло будували на місці старого промислового району, виробничі потужності якого було перенесено за кордон. Залишилися стара фабрика й земля, яка тривалий час фактично не використовувалася. На перетині колишніх передмість виросло нове міське



Іл. 4. Житловий комплекс «Mountain Dwellings». Копенгаген, Данія. [10]

середовище між транспортними магістралями. Так сформувався фрагментований і місцями незатишний міський ландшафт, що охоплює території кількох громад. Сучасний виклик полягає не лише в зведенні нових будинків, але й у розвитку поселення з міським характером і створенні стійких просторових взаємозв'язків [12].

Методи параметричного проектування застосовуються також у будівництві висотних житлових будівель. Їх використовують для оптимізації систем конструктивних елементів, формування навісних фасадних рішень і динамічних елементів зовнішнього опорядження.

Прикладами будівництва житлових і змішаного типу висотних будівель є комплекси Al Bahr Towers (іл. 7) в Абу-Дабі та One Thousand Museum (іл. 8) у Маямі. Al Bahr Towers – інноваційний проєкт архітектурної студії Aedas, завершений у 2012 році. Дві 25-поверхові башти заввишки 145 м поєднують сучасні технології з традиційними елементами ісламської архітектури, ставши іконою сталого будівництва. Хоча комплекс переважно має офісне призначення, у ньому також передбачено житлові зони. Фасад будівлі оснащено адаптивною системою «сонячних парасольок», створеною з використанням параметричного підходу для зниження теплового навантаження. Al Bahr Towers демонструє, як сучасні технології можуть гармонійно інтегруватися в традиційний культурний контекст, забезпечуючи високу енергоефективність та естетичну привабливість [13].

One Thousand Museum (іл. 8) – 62-поверховий житловий хмарочос у Маямі, створений архітектурним бюро Zaha Hadid Architects. Завершений у 2020 році, він став першим проєктом З. Хадід



Іл. 5. Житловий комплекс «Viviendas Villa Verde». Конституційсьон, Чилі. [11]



Іл. 6. Житловий квартал «Zwicky-Süd». Дюбендорф, Швейцарія. [12]



Іл. 7. Житловий комплекс «Al Bahr Towers». Абу-Дабі, Об'єднані Арабські Емірати. [13]



Іл. 8. Житловий комплекс «One Thousand Museum». Маямі, США [14]

такого масштабу в Західній півкулі. Будівля розташована в центрі міста, поблизу Museum Park, з видом на затоку Біскайн. Житловий хмарочос від Zaha Hadid Architects має скульптурний зовнішній каркас, створений за допомогою параметричних інструментів. Це дало змогу поєднати естетику з функціональністю. Проект відомий своєю складністю та естетичною привабливістю, що відображає стиль З. Хадід – поєднання футуристичних форм та функціональності. Хмарочос став новим орієнтиром для Маямі, підвищуючи загальний рівень дизайну в регіоні [14].

Сучасне проектування та будівництво стрімко розвиваються завдяки цифровим технологіям, які дають змогу підвищити точність, ефективність і автоматизованість процесів. Одним із ключових напрямів є параметричне проектування та технологія інформаційного моделювання будівель (BIM). Ці інструменти забезпечують можливість створення гнучких, адаптивних моделей, що реагують на зміну вхідних даних, а також допомагають інтегрувати всі етапи життєвого циклу

будівлі – від концептуального проектування до її експлуатації [15].

Програмні забезпечення для параметричного проектування: Rhinoceros, Grasshopper, Dynamo. ПЗ для інформаційного моделювання – Revit. Grasshopper це візуально-скриптова мова, яка працює як плагін для Rhinoceros. Grasshopper уможливорює створення складних геометричних алгоритмів за допомогою інтуїтивно зрозумілого графічного інтерфейсу. Він ідеально підходить для експериментів і розробки складних геометричних форм. Так, Rhinoceros – це програма для 3D-моделювання, яка широко використовується в архітектурі, індустриальному дизайні та ювелірній справі. Rhino пропонує потужні інструменти для створення NURBS-поверхонь і твердотілих моделей. У поєднанні з Grasshopper – це потужний інструмент для параметричного проектування. Revit – це BIM-система (Building Information Modeling), яка використовується для проектування будівель. Revit дає змогу створювати параметричні моделі будівель, які містять детальну

інформацію про всі елементи конструкції. Dynamo – це візуальне програмування для Revit, яке дає змогу автоматизувати рутинні завдання і створювати параметричні моделі [16].

Якщо порівнювати зазначені програмні забезпечення, то найпотужнішим для параметричного проектування можна вважати Grasshopper у системі Rhinoceros. Як допоміжні та завершальні інструменти для інформаційного моделювання доцільно використовувати Revit та Dynamo. Для роботи з цими програмами необхідне попереднє навчання через велику кількість функціональних можливостей. Параметричні моделі можуть бути експортовані в аналітичні програми для проведення симуляцій, таких як тепловий аналіз, аналіз освітленості, аналіз міцності конструкцій.

Вибір програми залежить від конкретних завдань і рівня підготовки користувача. Для складних геометричних експериментів найкраще підходить Grasshopper, для створення детальних BIM-моделей – Revit, а для швидкого прототипування – Fusion 360. Програми для параметричного моделювання відкривають нові можливості для архітекторів і дизайнерів: вони допомагають формувати складні та витончені форми, оптимізувати проекти та створювати індивідуальні рішення. Отже, вибір відповідної програми залежить від конкретних цілей і потреб проекту.

Параметричне проектування, попри свої численні переваги, має низку викликів та обмежень, які необхідно враховувати під час його застосування. Для ефективної роботи з програмами параметричного моделювання потрібні знання з математики, геометрії, алгоритмізації та програмування. Також важливо володіти спеціалізованою термінологією, що використовується у параметричному проектуванні, адже без цього деякі поняття можуть бути складними для розуміння. Крім того, ця сфера постійно розвивається: з'являються нові функції, параметри й терміни, тому фахівцям необхідно адаптувати

свої навички та проекти до нових стандартів. Додатковим викликом може бути потреба у високопродуктивному комп'ютері, здатному опрацьовувати складні алгоритми, що також впливає на доступність технології.

Висновки і перспективи використання результатів дослідження. Попри виклики, параметричне проектування має величезний потенціал для підвищення ефективності і якості проектів. Завдяки своїй гнучкості та можливості автоматизації рутинних завдань, цей метод стає все більш популярним в архітектурі та дизайні.

Параметричне проектування є інноваційним підходом у сучасній архітектурі, що забезпечує нові можливості для адаптації будівель до конкретних потреб користувачів. Засобами параметричного проектування можуть бути Rhinoceros, Grasshopper, Dynamo. На основі розглянутих матеріалів можна зробити висновок, що Grasshopper є одним із найефективніших інструментів для параметричного проектування. Його впровадження в проектування житлових приміщень, створює перспективи для підвищення якості життя [17]. Цей метод дає змогу, шляхом зміни геометричних, інженерних, психологічних та інших параметрів, удосконалювати й оптимізувати як планувальні, так і естетичні рішення. Аналіз історичного контексту, сучасних технологій і прикладів реалізованих проектів підтверджує, що параметричне моделювання дає змогу:

- створювати складні геометричні форми, адаптовані до особливих потреб;
- підвищувати енергоефективність будівель через оптимізацію розміщення елементів;
- інтегрувати технології автоматизації, алгоритмічного дизайну в архітектурний процес.

Таким чином, параметричне проектування має значний потенціал для індивідуалізації житлових просторів та створення архітектури, яка забезпечує функціональність, естетику й соціальну значущість.

Список використаних джерел

1. Комаров К., Казарян Б. Оптимізація розробки студентських архітектурних проектів за допомогою технології Rhino.Inside®.Revit. *Збірник наукових праць «Українська академія мистецтва»*. 2023. Вип. 33. С. 17–24. URL: <https://journals.naoma.kyiv.ua/index.php/uam/article/view/31> (дата звернення: 26.02.2025).
2. Давидов А., Нестеренко В. Переваги та перспективи використання rhino.inside. *Вісник Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури*. 2024. № 2. С. 12–16. URL: <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2024-2-2> (дата звернення: 26.02.2025).
3. Омеляненко М. В., Омеляненко М. В. Параметричний метод нормування та підготовка архітекторів у сучасних умовах. *Theory and practice of design*. 2021. № 22. С. 71–78. URL: <https://doi.org/10.18372/2415-8151.22.15395> (дата звернення: 26.02.2025).
4. Zhang J., Liu N., Wang S. Generative design and performance optimization of residential buildings based on parametric algorithm. *Energy and Buildings*. 2021. No. 244. P. 96–103. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778821003170> (дата звернення 12.10.2024).

5. Schnabel M.A. Parametric Designing in Architecture. Computer-Aided *Architectural Design Futures (CAADFutures)* / Dong, A., Moere, A. V., Gero, J. S. (eds). 2007. P. 237–250. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-6528-6_18
6. Pérez-Martínez I., Martínez-Rojas M., Manuel Soto-Hidalgo J. A methodology for urban planning generation: a novel approach based on generative design. *Engineering applications of artificial intelligence*. 2023. Vol. 124. P. 48–56 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197623007935> (дата звернення 14.10.2024).
7. Wang T.-K., Duan W. Generative design of floor plans of multi-unit residential buildings based on consumer satisfaction and energy performance. *Developments in the built environment*. 2023. № 16. P. 93–102 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165923001205> (дата звернення 28.11.2024).
8. Intelligent floor plan design of modular high-rise residential building based on graph-constrained generative adversarial networks/J.Liu et al. *Automation in construction*. 2024. № 159. P. 154–168 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580523005241> (дата звернення 13.10.2024).
9. Scheeren O. The Interlace / OMA. *ArchDaily*. 2015, 7 May. URL: <https://www.archdaily.com/627887/the-interlace-oma-2> (дата звернення 26.02.2025).
10. Mountain Dwellings / PLOT = BIG + JDS. *ArchDaily*. 2009, 11 March. URL: <https://www.archdaily.com/15022/mountain-dwellings-big> (date of access: 16.02.2025).
11. Villa Verde Housing / ELEMENTAL. *ArchDaily*. 2013, 13 November. URL: <https://www.archdaily.com/447381/villa-verde-housing-elemental> (дата звернення 16.02.2025).
12. Zwicky Areal -Residential, workshop and commercial complex. *Archello*. URL: <https://archello.com/project/zwicky-areal> (дата звернення 16.02.2025).
13. Cilento K. Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas. *ArchDaily*. 2012, 05 September. URL: <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> (дата звернення 16.02.2025).
14. One Thousand Museum Residential Tower / Zaha Hadid Architects. *ArchDaily*. 2020, 26 Feb. URL: <https://www.archdaily.com/934407/one-thousand-museum-zaha-hadid-architects> (дата звернення 16.02.2025).
15. Mukkavaara J., Sandberg M. Architectural design exploration using generative design: framework development and case study of a residential block. *Buildings*. 2020. Vol. 10, №. 11. P. 24–31 URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/10/11/201> (дата звернення 13.11.2024).
16. Rhino.Inside.Revit Guides: сайт. URL: <https://www.rhino3d.com/inside/revit/1.0/guides/> (дата звернення 12.09.2024).
17. Stavric M., Marina O. Parametric modeling for advanced architecture. *Researchgate*. 2011. Vol. 22. P. 9–16 URL: <https://parametric-architecture.com/wp-content/uploads/2018/09/PARAMETRIC-MODELING-FOR-ADVANCED-ARCHITECTURE.pdf> (дата звернення 12.10.2024).

References

1. Komarov, K., & Kazaryan, B. (2023). Optymizatsiia rozrobky studentskykh arkhitekturnykh proektiv za dopomohoiu tekhnolohii Rhino.Inside®.Revit [Optimization of the development of student architectural 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].
2. Davydov, A., & Nesterenko, V. (2024). Perevahy ta perspektyvy vykorystannia rhino.inside [Advantages and Prospects of Using RHINO.INSIDE]. *Visnyk Natsionalnoi akademii obrazotvorchoho mystetstva i arkhitektury – Bulletin of the National Academy of Fine Arts and Architecture*, 2, 12–16. <https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2024-2-2> [in Ukrainian].
3. Omelianenko, M. V., & Omelianenko, M. V. (2021). Parametrychnyi metod normuvannia ta pidhotovka arkhitektoriv u suchasnykh umovakh [Parametric method of standardization and training of architects in modern conditions]. *Theory and Practice of Design*, (22), 71–78. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.18372/2415-8151.22.15395> [in Ukrainian].
4. Zhang, J., Liu, N., & Wang, S. (2021). Generative design and performance optimization of residential buildings based on parametric algorithm. *Energy and Buildings*, 244, 96–103. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778821003170> [in English].
5. Schnabel, M. A. (2007). Parametric Designing in Architecture. Computer-Aided. In Dong, A., Moere, A. V., & Gero, J. S. (Eds). *Architectural Design Futures (CAADFutures)* (p. 237–250). Retrieved from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-6528-6_18 [in English].
6. Pérez-Martínez, I., Martínez-Rojas, M., & Manuel Soto-Hidalgo, J. (2023). A methodology for urban planning generation: a novel approach based on generative design. *Engineering applications of artificial intelligence*, 124, 48–56 Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197623007935> [in English].
7. Wang, T.-K., & Duan, W. (2023). Generative design of floor plans of multi-unit residential buildings based on consumer satisfaction and energy performance. *Developments in the built environment*, 16, 93–102 Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165923001205> [in English].
8. Liu, J. et al. (2024). Intelligent floor plan design of modular high-rise residential building based on graph-constrained generative adversarial networks. *Automation in construction*, 159, 154–168 Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580523005241> [in English].

9. Scheeren, O. (2015, May 07). The Interlace / OMA. *ArchDaily*. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/627887/the-interlace-oma-2> [in English].
10. MountainDwellings/PLOT=BIG+JDS(2009, March 11). *ArchDaily*. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/15022/mountain-dwellings-big> [in English].
11. Villa Verde Housing/ELEMENTAL. (2013, November 13). *ArchDaily*. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/447381/villa-verde-housing-elemental> [in English].
12. Archello (n.d.). Zwicky Areal -Residential, workshop and commercial complex. Retrieved from: <https://archello.com/project/zwicky-areal> [in English].
13. Cilento, K. (2012, September 05). Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas. *ArchDaily*. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> [in English].
14. ArchDaily. (2020, Feb. 26). One Thousand Museum Residential Tower / Zaha Hadid Architects. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/934407/one-thousand-museum-zaha-hadid-architects> [in English].
15. Mukkavaara, J., & Sandberg, M. (2020). Architectural design exploration using generative design: framework development and case study of a residential block. *Buildings*, 10(11), 24–31. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/2075-5309/10/11/201> [in English].
16. Rhino.Inside.Revit Guides [Sait]. Retrieved from: <https://www.rhino3d.com/inside/revit/1.0/guides/> [in English].
17. Stavric, M., & Marina, O. (2011). Parametric modeling for advanced architecture. *Researchgate*, 22, 9–16. Retrieved from: <https://parametric-architecture.com/wp-content/uploads/2018/09/PARAMETRIC-MODELING-FOR-ADVANCED-ARCHITECTURE.pdf> [in English].

Подано до редакції 26.02.2025