

УДК 721.02

С. І. Пустюльга

д.т.н., професор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

В. П. Самчук*

к.т.н., доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9045-9525>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Ю. С. Бондарчук

к.мист., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1890-9795>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

М. В. Заразка

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7652-5563>

Кафедра архітектури та дизайну

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: volodsam@ukr.net

Параметризм як стиль в архітектурі та дизайні: концепція, методологія, комп'ютерний інструментарій та перспективи розвитку

Цитувати як:

Пустюльга, С. І., Самчук, В. П., Бондарчук Ю. С., Заразка, М. В. (2025). Параметризм як стиль в архітектурі та дизайні: концепція, методологія, комп'ютерний інструментарій та перспективи розвитку. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 23, 222-239. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-20](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-20)

© 2025, Пустюльга, С. І., Самчук, В. П., Бондарчук Ю. С., Заразка, М. В.

Анотація. У роботі досліджено взаємозв'язок тріади основних методологічних засад параметризму, як сучасного стилю в дизайні, окреслено ряд нових перспектив для розвитку параметричного стилю.

Визначено концепцію стилю параметрики. Концепція подана архітектурно-дизайнерською системою, у якій всі елементи та комплекси є гнучкими і підпорядковуються параметричній логіці. Основним інструментом для досягнення такої логічної гнучкості є алгоритмізація функціональних зв'язків між множиною параметрів всіх окремих складових процесу дизайн-проекування. Методологія стилю параметризму сформована за принципом побудови природних систем, у яких форми є результатом взаємодії факторів, що організовують складні та ніби розрізнені елементи у цілісну структуру.

Проведено аналіз найбільш популярних комп'ютерних програм стосовно можливостей параметричного моделювання 3D-об'єктів. На основі аналізу здійснено класифікацію програм за ефективністю їх застосування як інструментів

формування параметричного стилю в різних галузях дизайну.

До перспективних напрямів розвитку параметричного стилю в дизайні було віднесено наступні складові: застосування генеративного дизайну на основі ШІ; біонічний та адаптивний дизайн; інтеграція параметричного дизайну в створення динамічних віртуальних середовищ AR/VR; роботизоване та цифрове виробництво; активне впровадження клімат-орієнтованого дизайну. Їх розвиток відкриє нові можливості для стилю параметрики за рахунок перенесення проєктованих об'єктів у віртуальний простір, цифрової симуляції впливу параметрів розробки на якісні характеристики дизайнерських рішень.

Особлива увага приділена дискретно-воксельному параметричному дизайну як новому підходу до параметричного моделювання. Його основна ідея полягає у тому, що складні форми описуються не традиційними параметричними кривими чи поверхнями, а дискретними елементами – вокселями. Завдяки такому представленню об'єктів кожен воксель може нести окремий набір параметрів, що забезпечує більш детальне і гнучке моделювання складних та адаптивних структур у будь-якій галузі дизайн-проєктування.

Ключові слова: параметричний стиль, концептуальні засади, методологія параметричного проєктування, комп'ютерний інструментарій, дискретно-воксельний параметричний дизайн, генеративний дизайн.

Вступ

Параметризм бере свій початок у цифрових методах анімації, що з'явилися в середині 1990-х років. Однак, повною мірою він розкрився лише в останні роки завдяки розвитку передових параметричних дизайнерських систем, які дозволяють створювати складні, динамічні форми [1]. Сьогодні параметризм визначає нову парадигму, яка базується на складних обчислювальних методах, багатому формалізованому різноманітті елементів та логіці і виокремився у провідний напрям сучасних архітектури та дизайну.

У процесі свого розвитку параметризм став повністю сформованим стилем. Історично, особливий стиль параметризму виник у результаті кризи модернізму та наступного періоду невизначеності, який ознаменувався такими короточасними стилями, як постмодернізм, деконструктивізм і мінімалізм [2]. Параметризм заповнив цю прогалину, запропонувавши новий принцип структурування об'єктів архітектури і дизайну через властивість їх динамічної гнучкості. А сучасні параметричні інструменти та скрипти відкрили шлях для формулювання та впровадження складних зв'язків між окремими елементами систем у процесі проєктування.

Поняття стилю не слід плутати із тимчасовими модними тенденціями. Стиль є глибоким історичним явищем, яке відображає єдність та різноманітність архітектурних епох, до яких можна віднести готику, ренесанс, бароко, класицизм, історизм і модернізм. Історія розвитку архітектури та дизайну вимагає переосмислення концепції стилю як узагальненого поняття, що не тільки описує минуле, але й формує майбутнє.

Тому побудова цілісної тріади, в яку включені: концептуальні засади парметризму як стилю, методологічні прийоми застосування параметричного дизайну та ефективний комп'ютерний інструментарій для ефективного створення об'єктів параметрики є актуальним завданням, що пов'язане із інноваційними методами в галузі архітектури та дизайну і може відкрити нові перспективи для розвитку парметризму як стилю.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Відомо ряд наукових публікацій, присвячених проблематиці параметричного проектування, зокрема у сферах архітектури, мистецтва та дизайну. Пошук та аналіз літературних джерел стосовно параметрики як стилю був здійснений за наступними напрямками: відомі підходи до формування концепції та методологічних принципів побудови параметричного стилю, сучасний програмний інструментарій для створення об'єктів параметричного дизайну, аналіз перспективних напрямів розвитку параметричного стилю в дизайні, дискретний параметричний дизайн, як незалежна гілка параметричного стилю.

Дослідження [3] присвячене вивченню взаємодії різних рівнів розробки об'єктів у параметричному дизайні, включаючи користувацькі інтерфейси та методи моделювання. Запропоновано оригінальні підходи для покращення взаємодії між творчими ідеями дизайнерів та параметричними моделями об'єктів дизайн-проектування. Однак, у роботі відсутні концептуальні стратегії, методологія щодо зв'язування в єдине ціле класичного дизайнерського підходу, параметрики та ефективного комп'ютерного інструментарію у процесі проектування.

У статті [4] автор аналізує зв'язок між параметричним дизайном, цифровим виробництвом і виготовленням об'єктів. Досліджено, як ці цифрові технології можуть спільно сприяти розвитку архітектури. Визначені переваги інтегрування параметричних моделей із цифровими методами виробництва. Питання методологічної основи параметричного підходу, аналізу інструментарію для вирішення проблем алгоритмічного виробництва залишилися у роботі без уваги.

Роботи [5-7] представляють парметризм як новий глобальний стиль в архітектурі та урбаністичному дизайні. Вперше у роботах було започатковано обговорення теоретичних основ параметрики та практичні застосування параметричного підходу в архітектурі та дизайні. Окреслено методологічні рамки та естетичні принципи парметризму. Однак, у наведених дослідженнях не були пов'язані методичні підходи до застосування параметричного методу із можливостями сучасного комп'ютерного інструментарію, не обґрунтована концепція застосування і впливу парметризму на технологію проектування та виготовлення сучасних виробів, її значення для соціального розвитку та екологічної якості об'єктів дизайну.

У роботі [8] розглянуто проблеми інтеграції конструктивних особливостей та матеріалів у процеси параметричного проектування. Досліджуються підходи до використання властивостей матеріалів об'єктів як активних параметрів у дизайн-проектуванні. Акцентується увага на важливості інформативності врахування характерних особливостей матеріалів для досягнення інноваційних архітектурних рішень. Однак, у роботі не розглядаються концептуальні принципи параметричного проектування як стилю, де крім властивостей матеріалів можна враховувати множину інших визначальних параметрів об'єктів будівництва (технологічних, ергономічних, економічних та інших).

У статті [9] досліджено основні історичні етапи формування поняття «параметрика» в галузі архітектури та дизайну, починаючи з інтуїтивного розглядання форм, як сукупності математичних та фізичних моделей. Визначено етапи розвитку параметричної архітектури та її відмінність від традиційних підходів. Проаналізовано ряд спеціалізованих програм, які можна застосовувати при проектуванні об'єктів параметричної архітектури. Виявлено, що параметричне проектування є перспективним і прогресивним методом архітектурної практики. Однак, параметрична архітектура не розглядається як цілісний концептуальний стиль зі своєю методологічною парадигмою та ефективним вибором комп'ютерно-обчислювального інструментарію. Відсутні спроби його інтеграції з іншими технологіями проектування.

У роботі [10] представлено результати аналізу основних етапів становлення та історія розвитку параметричного дизайну, як інноваційного методу проектування об'єктів архітектури та промислового виробництва. Визначено рівень універсальності та адаптивності методологічної основи алгоритмічного моделювання дизайн-об'єктів. Це дало можливість авторам виокремити критерії оцінки переваг та недоліків параметричного дизайну як методу проектування. Окреслено шляхи подальшого розвитку параметричного дизайну у напрямках дискретного представлення алгоритмів формування об'єктів і їх візуалізації за допомогою піксельно-воксельного інструментарію. Невирішеними у роботі залишилися побудова концепції дискретно-воксельного дизайну, як окремого відгалуження параметричного стилю зі своєю методологією та комп'ютерною реалізацією.

Проведений аналіз джерел вказав на ряд невирішених проблем, розв'язання яких може стати основою для формулювання мети даної роботи, а відповідно – завдання досліджень.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є: дослідження концептуальних принципів, методологічної основи та програмного інструментарію параметричного дизайну, як взаємопов'язаної тріади вже сформованого стилю. На основі досліджень окреслити найбільш перспективні та інноваційні напрями розвитку параметрики в дизайні та архітектурі.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити наступні завдання:

1. Охарактеризувати концептуальні принципи параметричного стилю в дизайні. Дослідити його методологічну основу.
2. Виконати критичний аналіз переваг та недоліків програмного інструментарію для створення об'єктів параметричного дизайну.
3. Окреслити перспективні напрями розвитку параметричного стилю в дизайні.
4. Розробити концептуальні принципи нового відгалуження параметрики, під назвою дискретно-воксельний параметричний дизайн.

Результати та обговорення

Популярні стилі сучасного дизайну можна порівняти з новими науковими парадигмами, які створюють концептуальні основи галузі, визначають нові цілі, методи та цінності [5]. Вони задають напрям для колективної роботи в дослідницькому полі дизайну. З цього випливає, що стилі – це не просто естетичні течії, а цілісні програми дизайнерських досліджень.

Розвиток дизайну відбувається через інновації всередині певного стилю, чергуючи періоди поступового прогресу стилю із переходами до іншого стилю. Стилi є ніби циклами інновацій, які об'єднують індивідуальні дослідження дизайнерів. Для такого розвитку необхідно зберігати цілісність стилю, навіть коли, це викликає певні труднощі. Принципи і методологія стилю мають бути послідовно підтримувані, щоб дати йому шанс на довготривалий успіх. Отже, стиль – це глибоко вкорінена система і з чіткими принципами та підходами до вирішення дизайнерських завдань. Кожен стиль повинен мати своє унікальне ядро і характерні проєктні та візуальні особливості.

Концепцію стилю параметрики можна визначити, як архітектурно-дизайнерську систему, у якій всі елементи та комплекси є гнучкими і підпорядковуються параметричній логіці. Це означає, що всі використовувані у процесі творчих пошуків форми мають адаптивну природу, яка дозволяє створювати взаємопов'язані системи, що здатні відповідати на складні соціальні та функціональні потреби.

Параметричний стиль пропонує радикальну трансформацію основних принципів архітектурного дизайну. Замість традиційного підходу, який базується на використанні чітких геометричних форм, таких як прямі лінії, прямокутники, куби, циліндри, піраміди та сфери, – у цьому стилі, акцент робиться на живих, адаптивних та динамічних геометричних об'єктах. Серед них – сплайни, фрактали, вигнуті поверхні, креативні форми та складні тривимірні структури, які імітують природні системи, наприклад: «хмари», «краплі», «рослини», «тканинні матеріали» і т. д.

Наведені вище елементи реагують на вплив зовнішніх факторів (атракторів) та гармонійно взаємодіють між собою.

У параметризмі кожна властива характеристика для елементів чи їх сукупностей підпорядковується параметричним алгоритмам, що дозволяє гнучко змінювати їхні властивості. Основним інструментом для досягнення цієї гнучкості є алгоритмізація функціональних зв'язків між множиною параметрів всіх окремих складових дизайн-проекування.

Однак, новий стиль не зводиться лише до використання сучасних комп'ютерних технологій чи обчислювальних інструментів. Стиль параметрики пропонує нову концепцію, засновану на інноваційних методах і цілях як у формі, так і в змісті та функціях.

Практика використання методів параметризму дає можливість окреслити негативні підходи до параметричного дизайну, що запобігає повторенню невдалих або несумісних рішень. До таких невдалих рішень можна віднести: використання в процесі проєкування простих геометричних примітивів, таких як площини, прості багатокутники, круги і т. і., надмірне застосування одноманітного повторення складових елементів без їх варіацій, хаотичне поєднання незалежних елементів або систем, які не мають внутрішнього взаємозв'язку. Разом із тим, практика визначила основні принципи розвитку параметричного стилю: усі форми мають бути параметрично адаптивними, змінюватися залежно від зовнішніх або внутрішніх параметрів; поступово диференціюватися відповідно до контекстуальних норм; а елементи та системи – бути логічно зв'язаними, перебувати у взаємній кореляції та мати можливість для інтеграції.

Методологія застосування стилю параметризму базується на вище наведених методологічних правилах, які допомагають уникати непродуктивних напрямів проєкування і підтримують інновації у розвитку позитивних властивостей напрямку параметризму. Аналіз негативної евристики дозволяє критично оцінювати та уникати повторення помилок минулих стилів, а позитивна – забезпечує основу для систематичного розвитку та реалізації ідей, які відповідають концепції стилю параметризму. Методологія стилю параметризму повинна сформувати свою, унікальну мову сучасного дизайну, спрямовуючи творчість у русло, що відповідає його ключовим цілям: гармонійна взаємодія, адаптивність та інноваційність.

Композиції, із використанням параметризму, відображають принципи природних систем, у яких форми є результатом взаємодії факторів, що організовують складні та ніби розрізнені елементи у цілісну структуру. Таким чином, цей стиль відображає не лише візуальний, технологічний, а й концептуальний прорив у сучасному дизайні.

Еволюція параметризму нерозривно пов'язана із безперервним удосконаленням комп'ютерних технологій проєкування. Вони відкривають перед дизайнерами унікальні творчі й організаційні можливості,

дозволяючи реалізовувати складні концепції. Параметризм як стиль можливий лише за умов використання передових параметричних методів, які стали невід'ємною частиною сучасної архітектури та креативного дизайну.

До передових підходів параметричного моделювання належать використання середовищ: Rhinoceros 3D (Rhino) + Grasshopper, Autodesk Revit + Dynamo, Blender + Sverchok, Houdini, SolidWorks, Maya, SketchUp з відповідними плагінами (Parametric Tools, FlexTools). Використання цих програмних комплексів стає звичною практикою серед креативних дизайнерів та архітекторів. У сучасному дизайні з елементами параметричного стилю конкурентоспроможність фахівця значною мірою залежить від володіння цими інструментами.

У подальшому проаналізовано переваги та недоліки зазначених програмних середовищ щодо їхньої ефективності у реалізації параметричного дизайну.

Rhinoceros 3D (Rhino) + Grasshopper – потужний інструмент для 3D-моделювання в архітектурі та індустріальному дизайні (рис. 1), що базується на використанні методів NURBS. Grasshopper є візуальним середовищем алгоритмічного і параметричного моделювання, де алгоритми створюються через вузли та їх зв'язки без традиційного програмування. Переваги комплексу включають швидку зміну параметрів проєкту, автоматизацію процесу дизайну, інтеграцію з Revit, AutoCAD, SolidWorks, Blender, підтримку Python і C#, а також розширення функціоналу через численні плагіни (LunchBox, Kangaroo, Weaverbird). Rhino+Grasshopper активно застосовується у створенні концептів автомобілів та дронів. Серед недоліків: фотореалістичний рендер дуже обмежений, складність освоєння логіки вузлів та висока вимогливість до ресурсів комп'ютера.

Autodesk Revit + Dynamo – важливий інструмент для інформаційного моделювання будівель і параметричного дизайну. Dynamo, як візуальна надбудова, автоматизує процеси проєктування, дозволяє створювати параметричні об'єкти та працювати з даними у динамічному середовищі (рис. 2). Ця комбінація широко застосовується для моделювання складних архітектурних форм, технічної автоматизації та оптимізації конструкцій.

Основні переваги: створення адаптивних компонентів у реальному часі; збереження інформації для управління об'єктами (освітлення, енергоефективність); генерація складних форм без прямого програмування; інтеграція з Excel, Rhino, Grasshopper, AutoCAD. Серед недоліків: складний інтерфейс через нелінійну логіку моделювання, обмежені можливості візуалізації складних форм та висока залежність продуктивності від потужності обладнання.



Рис. 1. Складна параметрична форма у Rhino

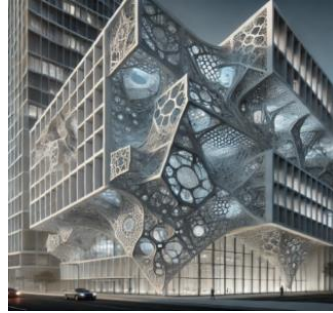


Рис. 2. Параметрична архітектура у Autodesk Revit + Dynamo

Blender + Sverchok – безкоштовний інструмент для 3D-моделювання, рендерингу, анімації та візуалізації, що функціонально нагадує Rhinoceros 3D + Grasshopper. Sverchok як додаток до Blender відкриває можливості параметричного і алгоритмічного моделювання через візуальне програмування (рис. 3). ТанDEM дозволяє створювати складні динамічні форми за допомогою математичних алгоритмів і генеративних процедур. Основні переваги: автоматизація створення складної геометрії без ручного редагування, використання потужних рендер-рушіїв (Cycles, Eevee), робота з фізичними симуляціями, текстурами і матеріалами. До недоліків належать: слабка інтеграція з BIM для створення технічної документації, складний інтерфейс і обмежений функціонал порівняно з Grasshopper.

Houdini – потужний інструмент для процедурного 3D-моделювання, анімації, візуальних ефектів (VFX) та симуляцій. Його вузлова система (node-based workflow) дозволяє створювати складні параметричні моделі, змінювати їх у реальному часі та інтегрувати динамічні ефекти (рис. 4).

Houdini широко використовується у виробництві фільмів, ігор, науковій візуалізації та генеративному дизайні. Програма підтримує симуляції частинок, рідин, тканин і твердих тіл, що дає змогу моделювати органічні форми, руйнування та аеродинамічні конструкції. До недоліків належать висока вартість, складність освоєння та велике навантаження на обчислювальні ресурси.



Рис. 3. Генеративна форма об'єкта дизайну в Blender



Рис. 4. Параметричне формоутворення меблів у Houdini

SolidWorks – професійне програмне забезпечення для параметричного моделювання механічних деталей, складних механізмів і виробів. На відміну від вузлових середовищ (Grasshopper, Houdini), SolidWorks застосовує ієрархічне параметричне моделювання, де зміни параметрів автоматично оновлюють конструкцію (рис. 5). Програма широко використовується в машинобудуванні, робототехніці, автомобільній, авіаційній і медичній сферах. Її переваги: можливість коригування моделей без втрати їхньої структури, вбудоване тестування механічних навантажень і кінематики, генерація технічної документації та інтеграція з CAD/CAM/CAE і 3D-друком. Серед недоліків: висока вартість, орієнтація переважно на інженерні задачі та значні вимоги до комп'ютерних ресурсів.

Autodesk Maya – інструмент для 3D-моделювання, анімації, симуляцій і рендерингу з підтримкою параметричного дизайну. Програма орієнтована переважно на анімацію та VFX, використовуючи Bifrost Graph і Mash для процедурного моделювання. Серед переваг: гнучке параметричне моделювання, створення біонічних поверхонь, динамічні симуляції та фотореалістичний рендеринг через Arnold і Redshift (рис. 6). До недоліків належать: потреба знань MEL/Python, нижча точність порівняно з SolidWorks чи Rhino, а також висока вартість ліцензії.

SketchUp – інструмент із простим інтерфейсом для 3D-моделювання в архітектурі, дизайні інтер'єрів та містобудуванні. Сам SketchUp не підтримує параметричне моделювання, однак його можливості розширюються через плагіни: Profile Builder, Curviloft, Fredo6 Plugins, Parametric Modeling Extension (рис. 7). Програма активно застосовується для створення фасадів, дахів, колон, рельєфів і модульних систем. Серед переваг: низький поріг входу, швидке створення концептуальних моделей, велика бібліотека готових 3D-об'єктів (3D Warehouse), можливість автоматизації процесів за допомогою плагінів.

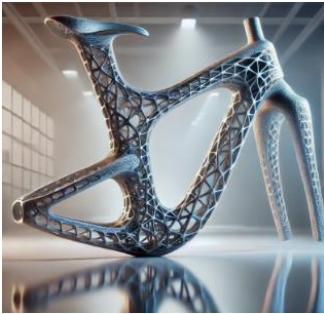


Рис. 5. Інженерна параметрична конструкція у SolidWorks



Рис. 6. Біонічна структура у Autodesk Maya

До недоліків належать: обмежена підтримка складного параметричного дизайну, неможливість моделювання складних інженерних об'єктів і додаткові витрати на плагіни.

Проведений вище аналіз найбільш популярних програмних продуктів для параметричного моделювання об'єктів дав можливість класифікувати ефективність їх застосування, як інструментарію для формування параметричного стилю у різних галузях дизайну (табл. 1).



Рис. 7. Параметрична модель меблів у SketchUp

До перспективних напрямів використання наведених програмних продуктів для параметричного дизайну можна віднести широке впровадження елементів AI-генеративного дизайну, тобто своєрідної синергії творця та комп'ютерної програми. Це буде удосконалювати ефективність роботи програмних інструментів в сенсі формулювання технічного завдання, генерації початкових ідей проекту і доведення його практично до ідеалу.

Перспективним також є напрям удосконалення AR/VR (доповнена/віртуальна реальність) візуальних технологій в сучасних комп'ютерних програмах. Їх розвиток відкриє нові можливості для стилю параметрики за рахунок перенесення проєктованих об'єктів у віртуальний простір, цифрової симуляції впливу параметрів розробки на якісні характеристики дизайнерських рішень.

Таблиця 1. Класифікація програмних інструментів параметричного моделювання за галузями проєктування

Галузь	Найбільш ефективні програмні інструменти параметрики
Архітектура та будівництво	Rhino+Grasshopper, Revit+Dynamo, SketchUp+Plugins
Індустріальний дизайн	SolidWorks, Rhino+Grasshopper
Анімація та VFX (створення візуальних ефектів для ігор, фільмів, реклами)	Houdini, Maya, Blender + Sverchok
Ювелірний дизайн	Rhino+Grasshopper, Blender+Sverchok
Дизайн об'єктів машинобудування	SolidWorks
Дизайн інтер'єрів	Revit+Dynamo, SketchUp+Plugins
Вебдизайн	Blender + Sverchok, Maya

Параметричний стиль вже сьогодні відіграє важливу роль у багатьох галузях дизайну, проте його розвиток у найближчі 5-10 років буде визначатися технологічними інноваціями, що включатимуть штучний інтелект, 3D-друк, роботизоване виробництво та біонічні форми. До перспективних напрямів розвитку параметричного стилю в дизайні слід віднести:

Застосування генеративного дизайну на основі ШІ. Це передбачає використання алгоритмів штучного інтелекту для автоматизованого створення оптимальних форм та структур. Дизайнер повинен тільки коректно задавати необхідні параметри об'єкту проєктування, а нейромережа генеруватиме варіанти на їх основі. В архітектурі такий підхід забезпечить повністю автоматизоване проєктування будівель, в авіабудуванні – відкриє нові можливості створення легких та міцних конструкцій, в робототехніці – дозволить створювати адаптивні конструкції роботів. Розвиток даного напрямку має і ряд застережень, які пов'язані із вимогами до обчислювальних ресурсів, відсутністю стандартизованих рішень, проблемами авторського права (наприклад, хто «створив» об'єкт генеративного дизайну – людина чи ШІ).

Біонічний та адаптивний дизайн, параметризм якого полягає в наслідуванні природних форм та механізмів у дизайні. Дані органічні структури можуть бути ефективнішими, ніж традиційні геометричні форми в таких галузях дизайну, як 3D-друк органів в біоінженерії, в ювелірному дизайні при створенні креативних органічних форм виробів, в біонічному будівництві, де конструкції будуть реагувати на навколишнє середовище. Тут труднощі можуть виникнути на етапі моделювання, із-за високої складності створення природних форм та біосумісності матеріалів.

Інтеграція параметричного дизайну в створення динамічних віртуальних середовищ AR/VR є перспективним напрямом для розробки віртуальних міст у метавсесвітах, геймдизайні, формуванні параметричних локацій та візуалізації інтер'єрів. Основними викликами для розвитку цього напрямку є відсутність ефективних методів оптимізації моделей віртуального простору та потреба у використанні надпотужних обчислювальних ресурсів.

Роботизоване та цифрове виробництво, суть якого полягає у використанні параметричних моделей для автоматизованого виробництва із використанням 3D-друку, CNC, лазерного різання. Це є перспективним напрямом для 3D-друку будинків, виробництва меблів, без таких технологій неможливий розвиток аерокосмічної галузі. При цьому, для запровадження даного напрямку слід швидко адаптовувати процеси програмування сучасних машин під параметричні алгоритми і знижувати надто високу вартість виробничого обладнання.

Активне впровадження клімат-орієнтованого дизайну, основою якого є використання параметричного стилю для створення будівель та об'єктів, що змінюють форму і поведінку залежно від погодних умов. Такий напрям особливо актуальний в оптимізації розташування будівель містобудівної галузі за критерієм енергоефективності та архітектурі, де параметрика буде працювати на розумні конструкції споруд, що реагують на кліматичні умови середовища. Труднощі впровадження таких технологій будуть пов'язані зі складністю у прогнозуванні довготривалих кліматичних змін та високою вартістю екологічних матеріалів.

Особливої уваги заслуговує **запровадження та активне використання дискретно-воксельного параметричного дизайну**. Дискретно-воксельний параметричний дизайн (ДВПД) – це новий підхід до параметричного моделювання, в якому параметричні об'єкти представляються множинами тривимірних кубічних вокселів [11], [12]. Основна ідея полягає у тому, що будь-яка складна форма описується не традиційними параметричними кривими чи поверхнями, а дискретними елементами (вокселями), що дозволяє ефективно моделювати складні та адаптивні структури. Методологічно ДВПД базується на декількох взаємопов'язаних складових:

- **дискретизації простору**, тобто переходу від неперервного представлення геометрії проєктованого об'єкту до розбиття його на окремі вокселі;
- **дискретному генеративному підході**, який полягає у використанні спеціальних алгоритмів для автоматизованого створення дискретно представлених параметричних моделей;
- **адаптивності та гнучкості**, тобто можливості модифікації окремих вокселів або їх груп для створення складних структур;
- **ітеративних алгоритмах оптимізації**, тобто використанні

ефективних алгоритмів оптимізації форми, наприклад, таких як топологічна оптимізація.

Для успішної практичної реалізації методології ДВПД потрібні спеціалізовані програмні рішення, здатні оперувати воксельними представленнями преткованих об'єктів. До найбільш ефективних, в сенсі створення, параметричних воксельних моделей можна віднести наступний комп'ютерний інструментарій: Blender+Sverchok/VoxSurf; Houdini (SideFX); Rhino+Grasshopper+OpenVDB; Autodesk Maya+Bifrost.

Дискретно-воксельний параметричний дизайн потребує вирішення низки проблем алгоритмізації та забезпечення інтуїтивного зв'язку між проєктними параметрами і створюваними воксельними конструкціями. Основними проблемами є: значне зростання обчислювальної складності дискретної параметричної моделі зі збільшенням кількості вокселів; складність згладжування геометрії при конверсії воксельних структур у неперервні форми; необхідність розробки ефективних алгоритмів для зменшення розмірності воксельної моделі.

Пропонується вирішувати ці проблеми шляхом неперервного зниження простору алгоритмізації процесу створення дискретної параметричної моделі. Цей підхід передбачає пошарову побудову параметричної моделі, застосування до кожного шару окремих параметричних зв'язків та перенесення їх властивостей на якісні характеристики дизайн-об'єкта (рис. 8). Такий процес нагадує віртуальний пошаровий 3D-друк дискретної моделі з постійним перерахунком параметричних властивостей кожного шару (рис. 9).



Рис. 8. Пошарова побудова дискретної параметричної моделі



Рис. 9. Модель віртуальної параметричної генерації меблів у пошаровому представленні

Незважаючи на певні проблеми та виклики, дискретно-воксельний параметричний дизайн має значний потенціал у сфері параметричного моделювання. Він відкриває інноваційні можливості для створення

унікальних форм, адаптованих до складних умов проектування. До перспективних напрямів розвитку дискретно-воксельної параметризації належать: використання ДВПД у 3D-друці для створення адаптивних об'єктів зі змінними матеріальними властивостями; інтеграція машинного навчання для автоматизованої генерації воксельних форм; розширене застосування дискретної параметризації в біодизайні, медицині (зокрема для моделювання біомеханічних структур), дизайні меблів і технічних конструкцій.

Висновки

У даній роботі досліджено взаємозв'язок тріади основних методологічних засад параметризму, що дозволило окреслити нові перспективи розвитку цього напрямку як сучасного стилю в архітектурі та дизайні. Усі поставлені дослідницькі завдання виконано.

1. Визначено концепцію стилю параметрики як архітектурно-дизайнерської системи, у якій усі елементи та комплекси є гнучкими і підпорядковуються параметричній логіці. Основним інструментом досягнення логічної гнучкості є алгоритмізація функціональних зв'язків між множиною параметрів окремих складових процесу дизайн-проектування. Методологія стилю параметризму відображає принципи побудови природних систем, у яких форми є результатом взаємодії факторів, що організовують складні та ніби розрізнені елементи у цілісну структуру.

2. Проведено аналіз найбільш популярних комп'ютерних програм стосовно можливостей параметричного моделювання 3D-об'єктів. За результатами аналізу здійснено класифікацію програм за ефективністю їх застосування як інструментів формування параметричного стилю у різних галузях дизайну.

3. Визначено перспективні напрями розвитку параметричного стилю в дизайні, серед яких: застосування генеративного дизайну на основі ШІ; біонічний та адаптивний дизайн; інтеграція параметричного моделювання у створення динамічних віртуальних середовищ AR/VR; розвиток роботизованого і цифрового виробництва; активне впровадження клімат-орієнтованого проектування. Розвиток цих напрямів відкриє нові можливості для параметрики, зокрема шляхом перенесення проєктованих об'єктів у віртуальне середовище та симуляції впливу параметрів на якість дизайнерських рішень.

4. Особливу увагу приділено запровадженню дискретно-воксельного параметричного дизайну як інноваційного підходу до створення параметричних моделей. У цьому підході об'єкти представляються множинами тривимірних кубічних вокселів. Його основна ідея полягає в тому, що складні форми описуються не традиційними параметричними кривими чи поверхнями, а дискретними елементами (вокселями), що дозволяє ефективно моделювати складні та адаптивні структури у різних галузях дизайн-проектування.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори засвідчують, що під час підготовки тексту штучний інтелект не використовувався. Водночас, окремі ідеї для формування параметричних моделей графічної частини були згенеровані з використанням інструментів штучного інтелекту.

References

1. Casale, A., Valenti, G. M., Calvano, M., & Romor, J. (2013). Surfaces: concept, design, parametric modeling, and prototyping. *Nexus Network Journal*, 15(2), 271–283.
2. Frazer, J. (2016). Parametric computation: History and future. *Architectural Design*, 86(2), 18–23.
3. Robert Aish, Robert Woodbury. Multi-level Interaction in Parametric Design. *International Journal of Architectural Computing*, London. 2005. PP. 89-104. DOI: 10.1260/1478077053739492.
4. Mark Burry. Parametric Design and Digital Fabrication. *International Journal of Architectural Computing*, London. 2005. PP. 1-17. DOI: 10.1260/1478077053739492.
5. Patrik Schumacher. Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. *Journal of Architectural Design*, London. 2009. PP. 14-23. DOI: 10.1002/ad.912.
- 6 Schumacher, P. (Ed.). (2016). *Parametricism 2.0: Rethinking architecture's agenda for the 21st century* (1st ed.). Academy Press.

- 7 Schumacher, P. (2023, February 6). Parametricism: The next decade. Patrik Schumacher. <https://patrikschumacher.com/parametricism-the-next-decade/>
8. Achim Menges. Material Resourcefulness: Activating Material Information in Computational Design. *Journal of Architectural Design*, London. 2012. PP. 34-41. DOI: 10.1002/ad.1370.
9. Lytvynenko O.V., Lytvynenko S.V. Kharakterni rysy parametrychnoi arkhitektury ta istorichni etapy yii formuvannia. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*, випуск 67. 2022. S. 57-68. DOI: 10.32347/2077-3455.2022.67.57-68.
10. Samchuk V., Pustiulha S., Prystupa O. Stanovlennia ta perspektyvy rozvytku parametrychnoho dyzainu. *Aktualni problemy suchasnoho dyzainu*, випуск 1. 2023. S. 371-374. DOI: 10.30857/apsd 2023.1.37.
11. Pustiulha S.I., Samchuk V.P., Holovachuk I.P., Lelyk Ya.R., Klak Yu.V. Dyskretno-vokselne predstavlennia modelei ob'ektiv dlia identyfikatsii ta rozrakhunku yikh fraktalnykh parametriv. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika: Fakhovyi zhurnal*. KNUBA - K., 2022. - Vyp. 103. – S. 185-200.
12. Pustiulha S.I., Samchuk V.P., Pasichnyk O.S., Chuhai R.V., Hradyska N.B. Dyskretno-vokselnyi parametrychnyi dyzain. *Teoriia ta praktyka dyzainu*: zb. Nauk. Prats. Dyzain. K.: NAU, 2023. Vyp. 27. S. 165-174. DOI: 10.32782/2415-8151.2023.27.21.

Література

1. Casale, A., Valenti, G. M., Calvano, M., & Romor, J. (2013). Surfaces: concept, design, parametric modeling, and prototyping. *Nexus Network Journal*, 15(2), 271–283.
2. Frazer, J. (2016). Parametric computation: History and future. *Architectural Design*, 86(2), 18–23.
3. Robert Aish, Robert Woodbury. Multi-level Interaction in Parametric Design. *International Journal of Architectural Computing*, London. 2005. PP. 89-104. DOI: 10.1260/1478077053739492.
4. Mark Burry «Parametric Design and Digital Fabrication». *International Journal of Architectural Computing*, London. 2005. PP. 1-17. DOI: 10.1260/1478077053739492.
5. Patrik Schumacher. Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. *Journal of Architectural Design*, London. 2009. PP. 14-23. DOI: 10.1002/ad.912.
- 6 Schumacher, P. (Ed.). (2016). Parametricism 2.0: Rethinking architecture's agenda for the 21st century (1st ed.). Academy Press.
- 7 Schumacher, P. (2023, February 6). Parametricism: The next decade. Patrik Schumacher. <https://patrikschumacher.com/parametricism-the-next-decade/>
8. Achim Menges. Material Resourcefulness: Activating Material Information in Computational Design. *Journal of Architectural Design*, London. 2012. PP. 34-41. DOI: 10.1002/ad.1370.
9. Литвиненко О.В., Литвиненко С.В. Характерні риси параметричної архітектури та історичні етапи її формування. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, випуск 67. 2022. С. 57-68. DOI: 10.32347/2077-3455.2022.67.57-68.

10. Самчук В., Пустюльга С., Приступа О. Становлення та перспективи розвитку параметричного дизайну. *Актуальні проблеми сучасного дизайну*, випуск 1. 2023. С. 371-374. DOI: 10.30857/apsd 2023.1.37.

11. Пустюльга С.І., Самчук В.П., Головачук І.П., Лелик Я.Р., Клак Ю.В. Дискретно-воксельне представлення моделей об'єктів для ідентифікації та розрахунку їх фрактальних параметрів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*: Фаховий журнал. КНУБА - К., 2022. - Вип. 103. – С. 185-200.

12. Пустюльга С.І., Самчук В.П., Пасічник О.С., Чугай Р.В., Градиська Н.Б. Дискретно-воксельний параметричний дизайн. *Теорія та практика дизайну*: зб. наук. праць. Дизайн. К.: НАУ, 2023. Вип. 27. С. 165-174. DOI: 10.32782/2415-8151.2023.27.21.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 21.05.2025	Received 21.05.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 22.05.2025	Received in revised form 22.05.2025
Прийнято 01.06.2025	Accepted 01.06.2025
Опубліковано 25.06.2025	Published 25.06.2025

S. I. Pustiulha

D.Sc. in Engineering, Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

V. P. Samchuk*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9045-9525>

Department of Building and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

Yu. S. Bondarchuk

Ph.D. in Arts, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1890-9795>

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

M. V. Zarazka

PhD student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7652-5563>

Department of Architecture and Design

Lutsk National Technical University, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: volodsam@ukr.net

Parametricism as a Style in Architecture and Design: Concept, Methodology, Computer Tools, and Development Prospects

How to Cite:

Pustiulha S. I., Samchuk V. P., Bondarchuk Yu. S., Zarazka M. V. (2025). Parametricism as a style in architecture and design: concept, methodology, computer tools, and development prospects. *Modern*

technologies and methods of calculations in construction, 23, 222-239. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-20](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-20)

Abstract. This paper explores the interrelation of the triad of fundamental methodological principles of parametricism as a contemporary style in design and outlines several new prospects for the development of the parametric style.

The concept of parametric style is defined as an architectural and design system in which all elements and complexes are flexible and subordinate to parametric logic. The primary tool for achieving such logical flexibility is the algorithmization of functional relationships between multiple parameters of all components within the design process.

The methodology of parametricism is based on the principle of constructing natural systems, where forms emerge as a result of the interaction of factors that organize complex and seemingly disparate elements into a coherent structure.

An analysis of the most popular computer programs for parametric 3D modeling has been conducted. Based on the results, a classification of these programs has been developed according to their effectiveness as tools for shaping parametric style in various fields of design.

The promising directions for the further development of parametric style include: the use of AI-based generative design; bionic and adaptive design; the integration of parametric design into dynamic virtual environments (AR/VR); robotic and digital manufacturing; and the active implementation of climate-oriented design. The advancement of these areas will open new opportunities for the parametric style by enabling the transfer of designed objects into virtual environments and by simulating the impact of design parameters on the qualitative characteristics of design solutions.

Special attention is given to Discrete Voxel Parametric Design as a novel approach to parametric modeling. Its core idea lies in the fact that complex forms are represented not through traditional parametric curves or surfaces, but through discrete elements – voxels. Each voxel can carry its own set of parameters, enabling more detailed and flexible modeling of complex and adaptive structures across various fields of design and project development.

Keywords: parametric style, conceptual foundations, methodology of parametric design, computer tools, discrete voxel parametric design.