

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.27.21>  
УДК 72.012

## ДИСКРЕТНО-ВОКСЕЛЬНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ ДИЗАЙН

Пустюльга Сергій Іванович<sup>1</sup>, Самчук Володимир Петрович<sup>2</sup>,  
Пасічник Оксана Степанівна<sup>3</sup>, Чугай Руслан Володимирович<sup>4</sup>,  
Градиська Наталія Борисівна<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектури та дизайну  
Луцького національного технічного університету, Луцьк, Україна,  
e-mail: mbf.declutsk@gmail.com, orcid: 0000-0001-7623-7803

<sup>2</sup>Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії  
Луцького національного технічного університету, Луцьк, Україна,  
e-mail: volodsam@ukr.net, orcid: 0000-0001-9045-9525

<sup>3</sup>Кандидат архітектури, доцент, завідувач кафедри архітектури та дизайну  
Луцького національного технічного університету, Луцьк, Україна,  
e-mail: ohanapasichnyk@gmail.com, orcid: 0000-0002-8381-0257

<sup>4</sup>Старший викладач кафедри архітектури та дизайну  
Луцького національного технічного університету, Луцьк, Україна,  
e-mail: r.chugai@lntu.edu.ua, orcid: 0000-0002-2038-9688

<sup>5</sup>Асистент кафедри архітектури та дизайну  
Луцького національного технічного університету, Луцьк, Україна,  
e-mail: fivenatali5@gmail.com, orcid: 0000-0001-9746-671X

**Анотація.** Робота присвячена дослідженням інноваційного методу дизайн-проекування, пов'язаного з автоматизованим дискретно-параметричним представленням каркасів модельованих об'єктів, що враховують не тільки візуально-естетичні характеристики виробу, а й технологічні можливості його виготовлення й економічні показники проекту загалом.

**Мета.** Метою роботи є розробка основ дискретно-воксельного параметричного дизайну, як принципово нового відгалуження сучасного стилю «параметричного дизайну».

Об'єктом дослідження є дискретно-воксельний параметричний дизайн.

Формалізація процесу проектування та використання можливостей комп'ютерних обчислювальних алгоритмів відкривають для дизайнерів і архітекторів доступ до нескінченного діапазону формують алгоритмів, які дозволяють легко генерувати креативні форми об'єктів середовища та водночас проявляти такий актуальний для митців творчий підхід.

**Результати.** У роботі проведено критичний аналіз «параметричного дизайну», що дозволило виявити основні його недоліки стосовно проектування об'єктів дизайну, створених за допомогою класичної параметрики.

**Наукова новизна.** Розроблено ефективні математичні алгоритми дискретного формування елементів каркаса візуальних форм, на основі інтуїтивно зрозумілої для дизайнера множини векторів, які формують образ, ніби розтягуючи його контур.

**Практична значущість.** Практичне втілення ідей у вигляді готового виробу можливе лише тоді, коли технологія виготовлення буде доступною. Якщо ж реалізація потребує значних ресурсів або неможлива, тоді варто застосовувати такі

методи проектування, які адаптовані до технологічних можливостей виробництва.

Запропонований новий підхід до дизайн-проектування дозволяє позбутися виявлених недоліків класичного параметричного підходу, а використання воксельних моделей, які покладені в основу запропонованого методу, дозволяє забезпечити можливість і технологічність виготовлення тривимірних форм, подібно до складання конструктора.

Розроблені алгоритми дозволяють реалізувати оптимальні підходи до проектування з урахуванням технологічних можливостей виготовлення об'єктів дизайну, що, у свою чергу, забезпечить економічну ефективність проекту.

Запропонований принципово новий стиль дизайнерських розробок – дискретно-воксельний параметричний дизайн, у багатьох випадках буде більш ефективним і позбавленим недоліків, притаманних класичному «параметричному дизайну».

**Ключові слова:** дискретно-параметричний дизайн, параметрика в дизайні, алгоритмічний дизайн, воксель, комп'ютерне проектування.

## ВСТУП

Багатовікову історію дизайну в усіх галузях людського життя, і особливо в архітектурі, можна схарактеризувати як історію розвитку стилів. Стиль – це не тільки набір певної виконавської техніки, технологій, художніх підходів і прийомів, це концентроване уявлення суспільства про прекрасне у відповідну історичну епоху. Наприклад, найвідоміші стилі: класицизм, ампір, модернізм, раціоналізм, мінімалізм та інші, формували філософію проектування не тільки будівель, а й інтер'єрів, меблів, аксесуарів, одягу та навіть зброї [1; 8].

«Параметричний», або «алгоритмічний», або «цифровий», дизайн, або «цифрове проектування в архітектурі» уже декілька десятиліть існує в рамках авангардного дизайну. Саме стрімкий розвиток комп'ютерних технологій дозволив цьому напрямку претендувати на роль провідного стилю нової цифрової епохи. Параметричне проектування, яке виникло передусім із цілком технологічних міркувань, настільки проникло в усі сфери сучасного життя, що породило нову естетику сприйняття, нову дизайнерську моду.

Терміни «параметричний, алгоритмічний дизайн», «цифрове проектування» у більшості людей викликають асоціації із чимось неживим, штучним, надто математизованим, таким, що суперечить людській природі й уявленням про творчість і мистецтво. Однак дані відчуття швидко розвіюються, якщо хоча б один раз побачити роботи дизайнерів, які у своїх творах використовували параметризм (рис. 1). Інколи навіть важко повірити, що природні, живі, наче дихаючі будівлі та споруди, інтер'єри, меблі або ювелірні прикраси створені дизайнерами за допомогою використання сучасних комп'ютерних техно-

логій. Саме за ефективним поєднанням геометричної науки та мистецтва і ховається «параметричний дизайн».



Рис. 1. Приклади робіт, виконаних у стилі «параметричного дизайну»

Історично явище параметрики бере початок із математики, геометрії, фізики й інших математично спрямованих наук. Параметричний вираз – це один із методів представлення неперервних або дискретних функцій через множину параметрів [2; 6; 7]. Параметри можуть бути декількох типів: внутрішні (довжини, кути), декартові (координати щодо

системи координат), ситуативні (відстань, кут між двома елементами) тощо. Обмеження на параметричне представлення – це параметри, які не треба змінювати. Тому методами параметричного проектування можна легко виокремлювати необхідні параметри як окремих елементів, так і проекту загалом. Надання різних значень потрібним параметрам відкриває можливості ефективного генерування множини різних конфігурацій. Математичні рівняння ж використовуються для опису залежностей між елементами в параметричній моделі. За допомогою поєднання інформації про параметри моделі в потрібному руслі дизайнер може за порівняно короткий час генерувати множину пропозицій щодо формування як індивідуальної естетики проекту, так і його конструктивних особливостей.

Така формалізація процесу проектування та використання обчислень відкривають для дизайнера чи архітектора нескінченний діапазон породжуючих алгоритмів, що дозволяють легко створювати нові середовища зі спеціальною системою кодування та водночас проявляти такий актуальний для проектувальників творчий підхід.

Отже, «параметричний дизайн»:

- авангардна філософія та методологія дизайну, яка поступово змінює парадигму процесу проектування;

- забезпечує переваги як естетики, так і функціональності виробу;

- не просто стиль – це також набір інструментів і методів у процесі створення високоякісних та інноваційних об'єктів для сучасного суспільства;

- дозволяє керувати складністю дизайну виробу, узгоджувати його з вимогами виробництва та матеріалознавства;

- дозволяє суттєво вдосконалити якість комп'ютерного проектування об'єктів дизайну;

- дозволяє ефективно впроваджувати елементи штучного інтелекту у творчий процес дизайну.

Однак за наявності низки суттєвих переваг перед використанням тільки традиційних способів розробки дизайн-пропозицій класичному «параметричному дизайну» властиві низка недоліків:

- розробка параметричних моделей проекту вимагає від дизайнера спеціальних математичних знань і навичок створення непевно заданих кривих ліній і поверхонь;

- у класичному «параметричному дизайні» відсутня єдина методологія з ефек-

тивного створення геометричних варіацій дизайнерських форм просторових образів проектного задуму;

- під час розробки концепції проекту параметричне тривимірне моделювання може виявитися зайвим для дизайнерів, які намагаються якнайшвидше дослідити та проаналізувати максимальну кількість прийнятних концептуальних рішень та ідей;

- параметричні моделі вимагають більше часу для оновлення, коли потрібно вносити несподівані та принципові зміни до конструктивної частини дизайнерського проекту;

- каркасне представлення елементів виробу, велике розмаїття та вишуканість кожної з вигнутих його ліній нерідко або є технологічно не здійсненим задумом, або виготовлення таких елементів є надто затратним.

Низку з вищезазначених недоліків пропонується усунути шляхом розроблення нової методики проектування, яку можна класифікувати як самостійне відгалуження класичного «параметричного дизайну» й ідентифікувати як дискретно-воксельний параметричний дизайн.

В основу такого підходу покладено, з одного боку, використання дискретного параметричного моделювання геометричних образів різної розмірності за допомогою візуально зрозумілої для дизайнера техніки завантаження вузлів базового об'єкта відповідними формуючими зусиллями, а з іншого – автоматизований перехід та представлення множини розроблених геометричних форм у воксельному вигляді. Отже, дана проблематика є актуальною для дослідження як із наукового, так і із прикладного погляду, а отримані результати у вигляді ефективної, комп'ютерно-реалізованої технології розробки варіацій дизайн-проектів суттєво розширять можливості класичного «параметричного дизайну».

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У різних літературних джерелах початок історії розвитку, становлення й еволюції «параметричного дизайну» трактується по-різному. На наш погляд, як більш-менш науково обґрунтований напрям дизайну він установився на початку 90-х рр. минулого століття і був сприйнятий спеціалістами як авангардно-дизайнерський рух. Першими практиками даного напрямку стали Д. Рейзер, Г. Лінн, Л. Спайбрук, К. Остерхуїс та інші, у роботах яких було адаптовано нове програмне забезпечення, що з'являлося на ринку, для цифрового представлення дизайн-проектів і використання водночас елементів анімації [9].

Оскільки в дизайні ідея пошуку форми полягає в тому, щоб реалізувати визначену мету, з урахуванням набору обмежень, то для дизайнера потрібна системна та водночас зрозуміла й ефективна методика цілеспрямованого впливу на множину характерних параметрів для досягнення потрібного результату.

Сучасна техніка параметричного проектування дозволяє створювати ітераційний цикл розробки дизайн-проекту. Наприклад, у процесі проектування дизайнер може вивчати властивості матеріалу об'єктів, можливі обмеження на технологічні процеси їх виготовлення. Отримані дані та вироблені концепції переносяться в параметричну модель, у якій відображаються відповідні дизайн-рішення. У процесі розробки проектні гіпотези уточнюються й оптимізуються.

Такий процес використання параметричного інструментарію дозволяє підійти до матеріалу та виробництва не лише як до інструменту втілення ідеї, але і як до джерела натхнення, створення внутрішніх глибоких зв'язків між матеріальними, естетичними та функціональними характеристиками.

Однак є проблема. Зазвичай дизайнер – це творча особистість, яка мислить образами. Складні математичні рівняння та системи рівнянь, що описують дані образи, важко інтерпретуються в його свідомості як зрозумілий інструмент формоутворення об'єктів, з визначеними функціональними властивостями і поготів. Тут необхідно мати більш образно зрозумілий інструментарій, який дозволяв би системно та просто керувати естетичними властивостями об'єктів дизайну цілеспрямованою зміною параметрів усієї системи.

Як такий інструмент пропонується використати методи дискретного моделювання геометричних об'єктів апаратом числових послідовностей, де основним формоутворювальним чинником є множина векторів зовнішнього формоутворювального навантаження, прикладеного до вузлів моделі [12; 14]. Координатні складові частини формоутворювального навантаження часто дають можливість прогнозувати динаміку зміни геометрії моделі у процесі пошуку, беручи до уваги естетичні та креативні властивості дизайну моделі, виражати метричні та диференціальні характеристики формованого образу через параметри складників навантаження, керувати функцією навантаження на вузли моделі у процесі можливих ітерацій для знаходження результуючого шуканого образу (рис. 2).

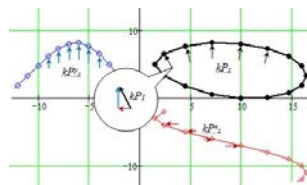


Рис. 2. Принцип візуального керування параметрами дискретного формоутворювального навантаження

Розглянемо це на прикладі проектування каркаса об'єкта та пошуку оптимальної форми як окремих його елементів, так і всієї множини дискретно представлених замкнутих кривих каркаса. Процес дискретного моделювання таких об'єктів проходить за окремими координатними складниками моделі в параметричному вигляді. Для такої інтерпретації процесу дискретного моделювання графіки координатних складових частин функції навантаження в розрахованих точках моделі, у сукупності, з одного боку, забезпечують дотримання метричних вимог, із другого – однозначно характеризують ступінь гладкості конкретної замкнутої кривої на множині дискретних вузлів формованого образу.

Якщо всі функції розподілу координатних складових частин навантаження є дискретними аналогами неперервних функцій то, відповідно до цього, буде забезпечуватись і гладкість кінцевої моделі формованого образу. За наявності стрибків на хоча б одному із графіків навантаження втрачається гладкість між сформованими вузлами модельованої замкнутої кривої, а в разі наявності стрибків навантаження у вузлах формованої моделі – з'являться точки розривів. Коефіцієнти у функціях розподілу складових частин навантаження слугують, окрім того, вільними параметрами для врахування практично необмеженої кількості вихідних параметрів і умов під час дискретного моделювання таких замкнутих одновимірних образів [17]. Процес дискретного моделювання зрівноважених просторових (плоских) замкнутих кривих апаратом числових послідовностей можна описати, у параметричному вигляді, такою системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_n = (1 - \frac{n}{N})x_0 + \frac{n}{N}x_N + \\ + \frac{n}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v kP_s^x - \sum_{v=1}^{n-1} \sum_{s=1}^v kP_s^x, \\ y_n = (1 - \frac{n}{N})y_0 + \frac{n}{N}y_N + \\ + \frac{n}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v kP_s^y - \sum_{v=1}^{n-1} \sum_{s=1}^v kP_s^y, \\ z_n = (1 - \frac{n}{N})z_0 + \frac{n}{N}z_N + \\ + \frac{n}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v kP_s^z - \sum_{v=1}^{n-1} \sum_{s=1}^v kP_s^z, \end{array} \right. \quad (1)$$

Особливий вклад, на наш погляд, у становлення параметричного моделювання зробив у 1988 р. А. Сазерленд, який створив інтерактивну програму автоматизованого проектування під назвою Sketchpad, що згодом стала прообразом майбутніх САПР [10]. За допомогою світлового пера користувачі могли малювати лінії та дуги, які були пов'язані одна з одною за допомогою обмежень. Ці обмеження містили всі істотні властивості параметричних рівнянь. Користувачі могли експериментувати та досліджувати різні конструкції, змінювати параметри об'єкта відповідно до накладених на нього обмежень.

Патрік Шумахер із проектної групи Захи Хадід почав уживати термін «параметризм» як аналог математичного поняття «параметризація» в архітектурній практиці, яке визначив так: «Параметризм – це стиль сучасної авангардної архітектури та дизайну, який вважається наступником постмодерністської та сучасної архітектури». Термін був ним уперше вжитий у 2008 р., де параметризм трактувався як система обмежень у параметричному проектуванні. Параметризм покладається на програми, алгоритми та комп'ютери для управління рівняннями в цілях проектування [18].

Згідно з П. Шумахером, «параметризм – це система самореферентності, у якій усі елементи взаємопов'язані, а зовнішній вплив, що змінюється в одному елементі, змінює й усі інші» [5].

Відомий аналоговий метод проектування, запропонований А. Гауді [3]. Він обов'язково включає основні функції розрахунку параметричних моделей, до яких відносять: вхідні параметри, рівняння, обмеження, результуючі моделі. Зміною окремих параметрів цих моделей А. Гауді міг генерувати різні версії своїх проектів, будучи упевненим, що отримані структури перебувають у прогнозованому фізичному стані.

Р. Вудбері у своїй монографії "Elements of Parametric Design" стверджує, що в параметричному середовищі дизайну проектувальникам потрібно знання іншого роду, які можуть «передбачити постійні ефекти, щоб зрозуміти різноманітність і структуру математичного інструментарію, і перемикатися між передбачуваним дизайнерським ефектом і математичною реалізацією, яка його моделює» [19]. Це означає, що сучасні дизайнери мають знати більше, ніж просто базові знання із класичних підходів до дизайнерської практики. Проте у процесі «параметричного дизайну» повинен існувати чіткий і усвідомлений баланс між суто параметричним маніпулю-

ванням із моделями та використанням широкого розуміння дизайнерських і архітектурних знань [4; 20].

Відома ще низка сучасних робіт, які опосередковано стосуються «параметричного дизайну», однак всі вони зазвичай висвітлюють історичне становлення й окремі приклади параметрики, в основному в архітектурній практиці, і не розглядають системні підходи, математичні алгоритми та технологічні засади практичного застосування «параметричного дизайну» під час розроблення проектів.

Якщо ж говорити про нове, пропоноване в даній роботі, відгалуження «параметричного дизайну», а саме дискретно-воксельний параметричний дизайн, то варто зазначити, що найближчим теоретичним і алгоритмічним підґрунтям даного підходу стали отримані у працях [11; 13; 15; 16] результати досліджень методів дискретного моделювання геометричних об'єктів різної розмірності за допомогою математичного апарату числових послідовностей.

## МЕТА

Метою роботи є розробка основ дискретно-воксельного параметричного дизайну, як принципово нового відгалуження сучасного стилю параметричного дизайну. Для досягнення поставленої мети треба виконати такі завдання:

1. Провести критичний аналіз параметричного дизайну як методу формоутворення складних за геометрією тривимірних об'єктів дизайну.

2. Розробити філософію та підходи, які б дозволили позбутися основних недоліків у проєктованих об'єктах, створених за допомогою класичної параметрики.

3. Запропонувати ефективні математичні алгоритми дискретного формування елементів каркаса візуальних форм, інтуїтивно зрозумілих для розробника.

4. Запропонувати підходи до розробки чи адаптації технологічних можливостей виготовлення проєктованих об'єктів з урахуванням і забезпеченням економічної ефективності проєкту.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Як зазначалося вище, термін «параметричний» походить із математики (параметричне представлення рівнянь) і пов'язаний із використанням певних параметрів або змінних, які можна редагувати для управління, наприклад, геометричними характеристиками одного об'єкта, чи для зміни результуючих властивостей усього проєкту.

де  $x_0, x_N, y_0, y_N, z_0, z_N$  – крайові умови;  
 $N$  – порядковий номер вузла замикання;  
 $kP_s^x, kP_s^y, kP_s^z$  – складові функціонально розподіленого навантаження у вузлах моделі.

Систему числових послідовностей (1), для спрощення, можна замінити одним рівнянням виду (2) з узагальненим координатним складником  $u$ .

$$u_n = \left(1 - \frac{n}{N}\right)u_0 + \frac{n}{N}u_N + \frac{n}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^{uf}(s)) - \sum_{v=1}^{n-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^{uf}(s)). \quad (2)$$

Наприклад, система (1) буде в тому разі становити плоску замкнуту криву лінію, якщо для двох координатних складників знайдеться такий період  $\mu$ , на якому за фіксованого значення  $n$  водночас дотримуються такі умови:

$$\begin{aligned} x_n &= x_{n+\mu}, \\ y_n &= y_{n+\mu}. \end{aligned} \quad (3)$$

Якщо елементи перших двох числових послідовностей (1) являють собою числові ряди, фіксована множина елементів яких повторюється з деякою періодичністю  $\mu$ , то відповідні числові послідовності називаються періодичними та графічно інтерпретують замкнуті просторові дискретно представлені криві на відповідному проміжку. Водночас для будь-яких  $n$  у числових послідовностях (1) необхідне дотримання умови (3) (рис. 3).

Даний підхід формування замкнутих і незамкнутих кривих, шляхом уведення до

математичної моделі будь-яких геометричних, естетичних чи функціональних параметрів та вираження їх через візуально прийнятні для дизайнера вектори зовнішнього навантаження у вузлах образів, дозволяє коригувати ступінь згущення сітки вузлів як окремих елементів, так і моделі загалом (рис. 4).

Варто зазначити, що за такого дискретного підходу до моделювання як плоских, так і просторових замкнутих кривих числовими послідовностями кількість рівнянь у системі (1) не пов'язана з кількістю вузлів, необхідних для візуального представлення об'єкта, тому не переобтяжує обчислювальний алгоритм.

Як зазначалося вище, окрім розроблення візуально простих, але ефективних алгоритмів розробки дизайн-пропозицій, не останнє місце посідають питання технологій реалізації задуму й економічності проєкту.

Практична реалізація ідей дизайнера у вигляді готового виробу можлива лише тоді, коли буде доступною технологія його виготовлення. Якщо технологія створення потребує значних ресурсів або неможлива, годі й сподіватись на втілення ідеї в життя. Тому за умови адаптації методів проєктування до технологічних можливостей виробництва є можливість отримати ефективний результат.

Успішне виготовлення складних за формою геометричних об'єктів «параметричного дизайну» вимагає розроблення та застосування відповідних методів та інструментів. Використання воксельних моделей, які покладені в основу формування та представлення

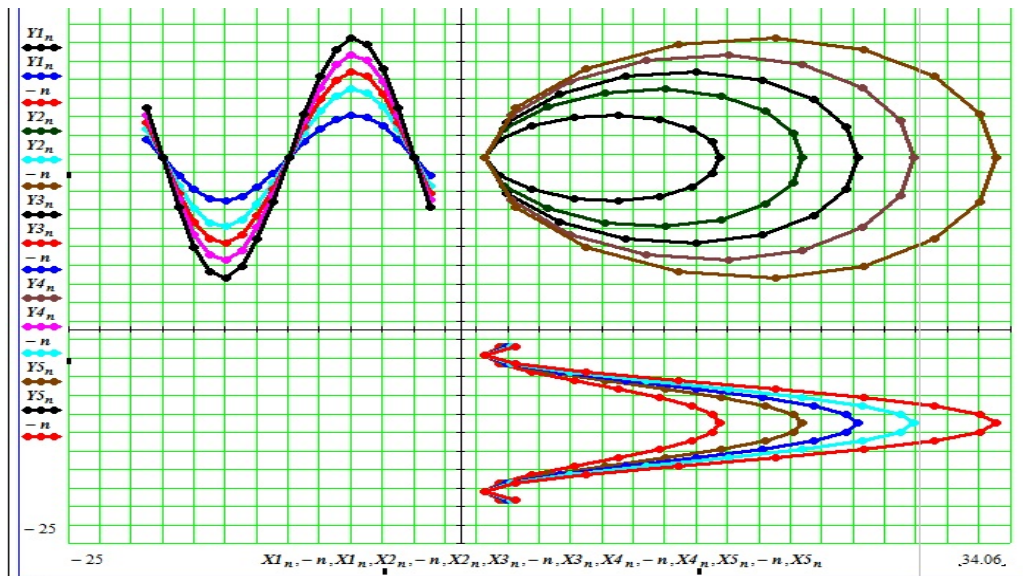


Рис. 3. Приклад формування множини замкнутих кривих шляхом керування формоутворювальним навантаженням у системі

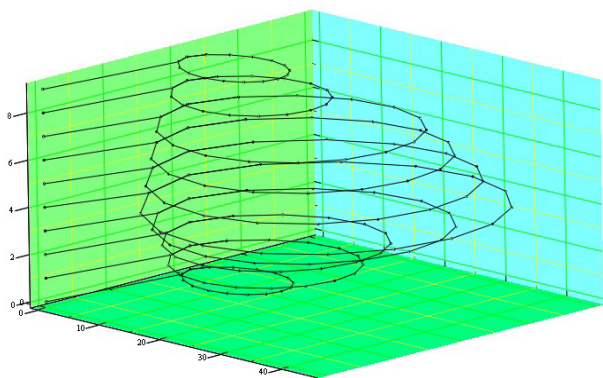


Рис. 4. Приклад дискретного параметричного формування об'єкта шляхом управління функціональним навантаженням у вузлах системи

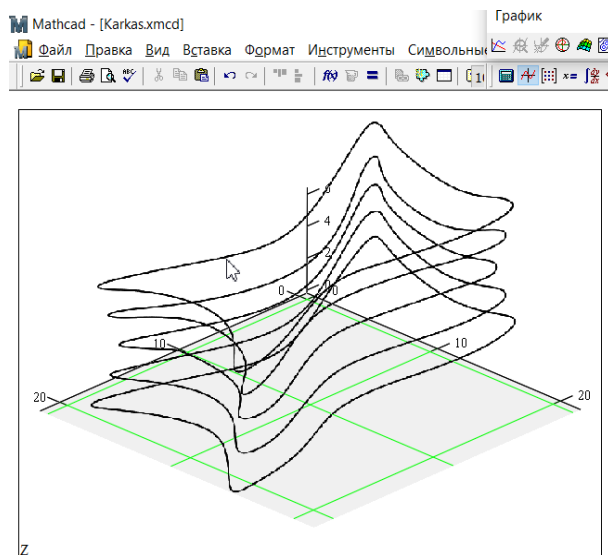


Рис. 5. Просторовий каркас проектного об'єкта

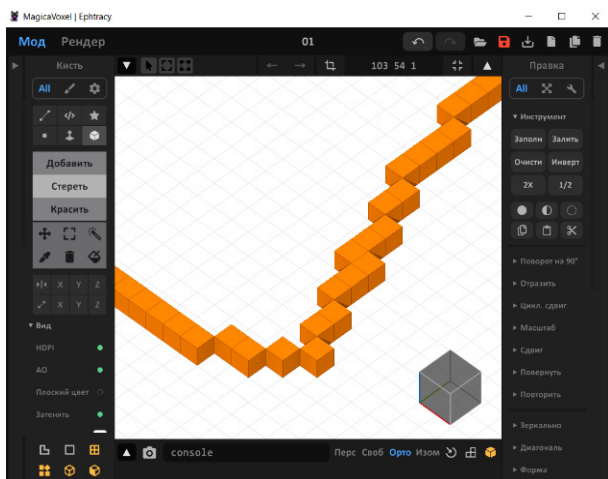
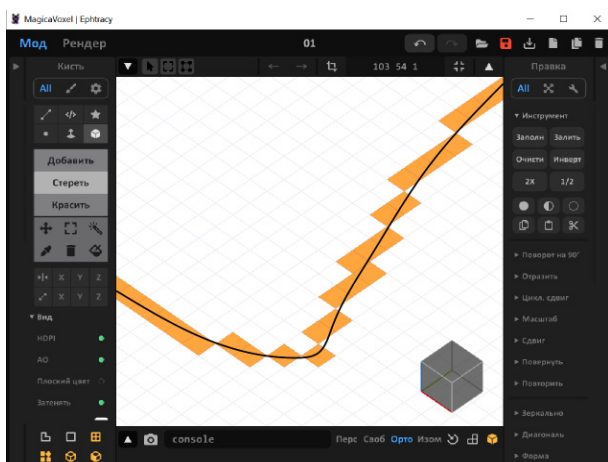


Рис. 6. Воксельна модель елемента каркаса проектного об'єкта

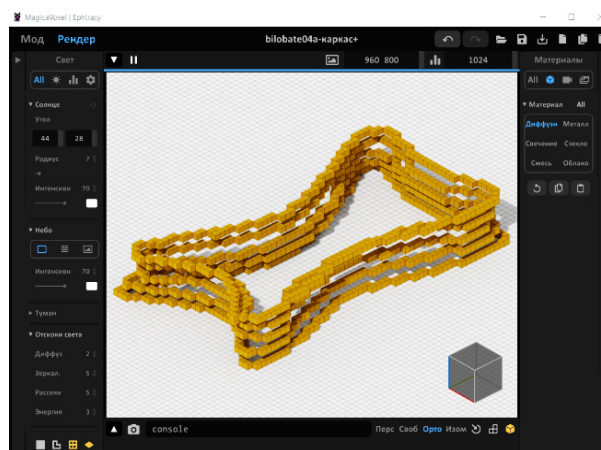


Рис. 7. Воксельна модель просторового каркаса проектного об'єкта

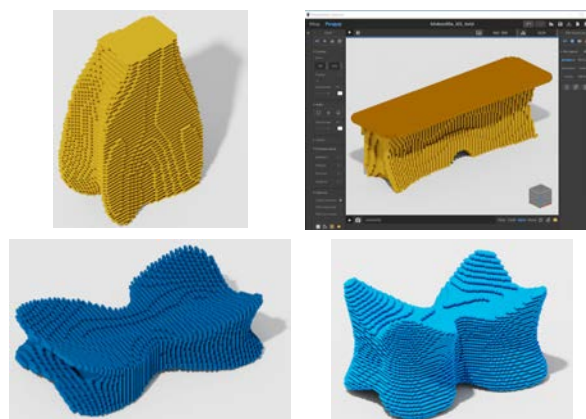


Рис. 8. Приклади воксельних моделей об'єктів середовища

образів дискретно-воксельного параметричного дизайну, не тільки дозволяє створювати креативні об'єкти дизайну, але і забезпечує технологію виготовлення тривимірних форм, подібно до складання конструктора.

Алгоритм реалізації дизайнерської ідеї відповідно до вищенаведених результатів досліджень можна розділити на окремі етапи, послідовність виконання яких пропонується така.

Відповідно до розробленого підходу (рис. 2), засобами дискретно-воксельного параметричного дизайну в Mathcad будується модель елементів каркаса проєктованого об'єкта. Елементи каркаса представляються множиною зазвичай плоских кривих із різними геометричними характеристиками.

За допомогою спеціальної методики елементи каркаса збираються в автоматизованому режимі як варіанти цілісних об'єктів, форма яких відповідає задуму дизайнера (рис. 5).

Далі розробник аналізує множини отриманих візуальних образів і вибирає з них оптимальне рішення.

Кожен елемент каркаса моделі вибраного образу переводиться в растрове представлення за допомогою спеціалізованої програми формування воксельних моделей MagicaVoxel (рис. 6, 7).

На рис. 8 наведені приклади об'єктів середовища, змодельовані засобами дискретно-воксельного параметричного дизайну.

Отже, за допомогою запропонованого підходу до дискретно-параметричного моделювання та розділення алгоритму на етапи можна більш ефективно та точно реалізувати оригінальні дизайнерські проєкти. А використання на одному з етапів переваг програми MagicaVoxel забезпечує ефективну технологію виготовлення креативних дизайнерських форм. Це пов'язано з тим, що MagicaVoxel дозволяє розкласти уніфіковані за геометрією

тривимірні форми на окремі елементи призматичної форми, які є основою для виготовлення об'єкта (рис. 9).



Рис. 9. Арка, виконана з уніфікованих дискретних елементів

## ВИСНОВКИ

У роботі проведено критичний аналіз «параметричного дизайну», який дозволив виявити основні його недоліки стосовно проєктування об'єктів дизайну, створених за допомогою класичної параметрики. На основі цього було запропоновано новий підхід до дизайн-проєктування, який надає можливість позбутися виявлених недоліків.

Розроблено ефективні математичні алгоритми дискретного формування елементів каркаса візуальних форм, які є інтуїтивно зрозумілими для дизайнера. Отримані алгоритми дозволяють реалізувати оптимальні підходи до проєктування з урахуванням технологічних можливостей виготовлення об'єктів дизайну та забезпечують економічну ефективність розробленого проєкту.

Як результат, запропоновано принципово новий стиль дизайнерських розробок – дискретно-воксельний параметричний дизайн, який у багатьох випадках буде більш ефективним і позбавленим недоліків, притаманних класичному «параметричному дизайну».

## REFERENCES

- [1] Holzer D. Parametric Design and Structural Optimisation for Early Design Exploration. *Int. J. Archit. Comput.* 2007. Vol. 5. P. 625–643.
- [2] Hanna S. Teaching Parametric Design in Code and Construction. *Proceedings of the SiGraDi2006*. Santiago, Chile : Educacion y Desarrollo Academico, 2006. P. 158–161.
- [3] Hernandez C.R.B. Thinking parametric design: introducing parametric Gaudi, Design Studies. *Special issue on Digital Design*. 2006. Vol. 27. P. 309–324.
- [4] Cardenas C.A. Modeling Strategies: Parametric Design for Fabrication in Architectural Practice. Harvard University ; Cambridge, 2008.
- [5] Karle D. Parametric thinking. *ACADIA Regional*. 2011. P. 109–113.
- [1] Holzer, D. (2007). Parametric Design and Structural Optimisation for Early Design Exploration. *Int. J. Archit. Comput.* Vol. 5. P. 625–643.
- [2] Hanna, S. (2006). Teaching Parametric Design in Code and Construction. *In Proceedings of the SiGraDi2006*. Educacion y Desarrollo Academico, Santiago, Chile. 23 Nov. P. 158–161.
- [3] Hernandez, C.R.B. (2006). Thinking parametric design: introducing parametric Gaudi, Design Studies. *Special issue on Digital Design*. Vol. 27. P. 309–324.
- [4] Cardenas, C.A. Modeling Strategies: Parametric Design for Fabrication in Architectural Practice. Harvard University; Cambridge, 2008.
- [5] Karle, D. Parametric thinking. *ACADIA Regional*. 2011. Parametricism: (SPC) P. 109–113.



- [6] Lee J.H. Creativity and parametric design? Comparing designer's cognitive approaches with assessed levels of creativity. *Int. J. Des. Creat. Innov.* 2015. Vol. 3. P. 78–94.
- [7] Lee J.H. Understanding Cognitive Activities in Parametric Design. *Global Design and Local Materialization*. Springer : Berlin/Heidelberg, Germany, 2013. P. 38–49.
- [8] Oxman R. Theory and Design in the First Digital Age, Design Studies. *Special issue on Digital Design*. 2006. Vol. 27. P. 229–265.
- [9] Oxman R. Theories of the Digital in Architecture. U.K.: Routledge, 2014.
- [10] Portland State Maseeh College of Engineering & Computer Science: Electrical & Computer Engineering / Ivan Sutherland. 2018. URL: <https://www.pdx.edu/ece/sutherland>.
- [11] Пустюльга С.І. Дискретне визначення геометричних об'єктів числовими послідовностями : дис. ... докт. техн. наук : 05.01.01. Київ : КНУБА, 2006. 320 с.
- [12] Пустюльга С.І., Самостян В.Р. Дискретне геометричне моделювання зрівноважених замкнутих кривих числовими послідовностями. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ, 2011. Вип. 87. С. 314–319.
- [13] Пустюльга С.І., Самчук В.П. Згущення точкових каркасів дискретно представлених кривих за рахунок параметрів зовнішнього формоутворюючого навантаження. Геометричне та комп'ютерне моделювання : VIII Науково-практична конференція в Сімферополі. *Прикладна геометрія та інженерна графіка* : збірник наукових праць. Київ, 2011. Вип. 88. С. 35–41.
- [14] Пустюльга С.І. Дискретне векторне формування геометричних об'єктів. Геометричне та комп'ютерне моделювання : VIII Науково-практична конференція в Сімферополі. *Прикладна геометрія та інженерна графіка* : збірник наукових праць. Київ, 2011. Вип. 88. С. 271–278.
- [15] Формування дискретних моделей зрівноважених замкнутих кривих за заданими вимогами математичним апаратом числових послідовностей / С.І. Пустюльга та ін. *Наукові нотатки* : збірник наукових праць. Луцьк : ЛНТУ, 2013. Вип. 41. С. 144–147.
- [16] Дискретне формування еквідистант до моделей замкнутих кривих апаратом числових послідовностей / С.І. Пустюльга та ін. *Наукові нотатки* : збірник наукових праць. Луцьк : ЛНТУ, 2014. Вип. 44. С. 227–232.
- [17] Пустюльга С.І., Самостян В.Р. Побудова дискретних моделей просторових замкнутих траєкторій із заданими геометричними властивостями. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : Луцький НТУ, 2017. Вип. 1 (8). С. 123–130.
- [18] Salim F. Software Openness: Evaluating Parameters of Parametric Modeling Tools to Support Creativity and Multidisciplinary Design Integration. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2010*. Springer : Berlin Heidelberg, Germany, 2010. P. 483–497.
- [19] Woodbury R. Elements of Parametric Design. New York : Routledge, 2010.
- [20] Yu R. Architects' cognitive behavior in parametric design. *International Journal of Architectural Computing*. 2014. Vol. 13. P. 83–101.
- [6] Lee, J.H. (2015). Creativity and parametric design? Comparing designer's cognitive approaches with assessed levels of creativity. *Int. J. Des. Creat. Innov.* Vol. 3. P. 78–94.
- [7] Lee, J.H. (2013). Understanding Cognitive Activities in Parametric Design. *Global Design and Local Materialization*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. P. 38–49.
- [8] Oxman, R. (2006). Theory and Design in the First Digital Age, Design Studies. *Special issue on Digital Design*. Vol. 27. P. 229–265.
- [9] Oxman, R. Theories of the Digital in Architecture. U.K. : Routledge, 2014.
- [10] Portland State Maseeh College of Engineering & Computer Science: Electrical & Computer Engineering / Ivan Sutherland [Electronic resource]. 2018. Access mode: <https://www.pdx.edu/ece/sutherland>.
- [11] Pustiulha, S.I. (2006). Dyskretne vyznachennia heometrychnykh ob'iektiv chyslovymy poslidoვნostiamy : Dys. ... dokt. tekhn. nauk : 05.01.01. Kyiv : KNUBA. 320 s. [in Ukrainian].
- [12] Pustiulha, S.I., Samostian, V.R. (2011). Discrete geometric modeling of balanced closed curves by numerical sequences. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*. K. Vyp. 87. S. 314–319 [in Ukrainian].
- [13] Pustiulha, S.I., Samchuk, V.P. (2011). Thickening of point frames of discretely represented curves due to the parameters of external forming load. VIII nauk.-prakt. konf. v Simferopoli "Heometrychne ta komp'uterne modeliuвання". *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika* : Zb. nauk. pr. K. Vyp. 88. S. 35–41 [in Ukrainian].
- [14] Pustiulha, S.I. (2011). Discrete vector formation of geometric objects. VIII nauk.-prakt. konf. v Simferopoli "Heometrychne ta komp'uterne modeliuвання". *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika* : Zb. nauk. pr. K. Vyp. 88. S. 271–278 [in Ukrainian].
- [15] Pustiulha, S.I., Samostian, V.R., Khomych, A.A. (2013). Formation of discrete models of balanced closed curves according to the specified requirements by the mathematical apparatus of numerical sequences. *Naukovi notatky* : Zb. nauk. pr. Lutsk : LNTU. Vyp. 41. S. 144–147 [in Ukrainian].
- [16] Pustiulha, S.I., Samostian, V.R., Khomych, A.A. (2014). Discrete formation of equidistant to models of closed curves by the apparatus of numerical sequences. *Naukovi notatky* : Zb. nauk. pr. Lutsk: LNTU. Vyp. 44. S. 227–232 [in Ukrainian].
- [17] Pustiulha, S.I., Samostian, V.R. (2017). Construction of discrete models of spatial closed trajectories with specified geometric properties. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti*. Lutsk : Lutskiy NTU. Vyp. 1 (8). S. 123–130 [in Ukrainian].
- [18] Salim, F. (2010). Software Openness: Evaluating Parameters of Parametric Modeling Tools to Support Creativity and Multidisciplinary Design Integration. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2010*. Springer : Berlin Heidelberg, Germany. P. 483–497.
- [19] Woodbury, R. Elements of Parametric Design. New York : Routledge, 2010.
- [20] Yu, R. (2014). Architects' cognitive behavior in parametric design. *International Journal of Architectural Computing*. Vol. 13. P. 83–101.

## ABSTRACT

**Pustiulha S., Samchuk V., Pasichnyk O., Chugai R., Hradyska N. Discrete-voxel parametric design.**

The paper is devoted to the study of an innovative design method associated with the automated discrete-parametric representation of the frameworks of modeled objects, taking into account not only the visual and aesthetic characteristics of the product, but also the technological capabilities of its manufacture and the economic performance of the project as a whole.

**Purpose.** The purpose of the study is to develop the basics of discrete-voxel parametric design as a fundamentally new offshoot of the modern style of "parametric design".

The object of study is discrete-voxel parametric design.

The formalization of the design process and the use of computer computing algorithms provide designers and architects with access to an infinite range of shape-forming algorithms that make it easy to generate creative forms of environmental objects and, at the same time, to show the creative approach that is so important for artists.

**Results.** A critical analysis of "parametric design" was carried out, which allowed us to identify its main shortcomings in relation to the design of design objects created using classical parametrics.

**Scientific novelty.** Effective mathematical algorithms for the discrete formation of visual form frame elements have been developed, based on an intuitive set of vectors that form an image as if stretching its contour.

**Practical relevance.** The practical implementation of ideas in the form of a finished product is possible only if the manufacturing technology is affordable. If the implementation requires significant resources or is not possible, then it is worth using design methods that are adapted to the technological capabilities of production.

The proposed new approach to design allows us to get rid of the identified shortcomings of the classical parametric approach, and the use of voxel models, which are the basis of the proposed method, allows us to ensure the possibility and manufacturability of manufacturing three-dimensional forms, similar to the assembly of a construction set.

The developed algorithms will allow to implement optimal design approaches taking into account the technological capabilities of manufacturing design objects, which, in turn, will ensure the economic efficiency of the project.

The proposed fundamentally new style of design development – discrete-voxel parametric design – will in many cases be more efficient and devoid of the disadvantages inherent in classical "parametric design".

**Key words:** discrete-parametric design, parametrics in design, algorithmic design, voxel, computer-aided design.

## AUTHOR'S NOTE:

**Pustiulha Serhiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Architecture and Design, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: mbf.declutsk@gmail.com, orcid: 0000-0001-7623-7803

**Samchuk Volodymyr**, Ph.D. Engineering, Associate Professor, Associate Professor of Civil Engineering, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: volodsam@ukr.net, orcid: 0000-0001-9045-9525

**Pasichnyk Oksana**, Ph.D. Architecture, Associate Professor, Head of the Department of Architecture and Design, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: oxanapasichnyk@gmail.com, orcid: 0000-0002-8381-0257

**Chugai Ruslan**, Senior Lecturer at the Department of Architecture and Design, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: r.chugai@Intu.edu.ua, orcid: 0000-0002-2038-9688

**Hradyska Nataliia**, Assistant of the Department of Architecture and Design, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: fivenatali5@gmail.com, orcid: 0000-0001-9746-671X

Стаття подана до редакції 15.04.2023 р.