

УДК 72.02:721

DOI <https://doi.org/10.24919/2308-4863/84-2-21>

Андрій ОТКИДАЧ,
orcid.org/0009-0008-1847-872X
аспірант кафедри дизайну та основ архітектури
Національного університету «Львівська політехніка»
(Львів, Україна) andrii.i.otkydach@lpnu.ua

ГЕНЕРАТИВНИЙ ДИЗАЙН ЯК СУЧАСНА ПАРАДИГМА В АРХІТЕКТУРІ ТА ДИЗАЙНІ: РОЛЬ СПЕЦІАЛІСТІВ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

У статті розкрито зміст поняття та актуальність генеративного дизайну як інноваційного підходу в архітектурі та дизайні, що базується на використанні алгоритмів і програмних рішень для автоматизованого формоутворення та оптимізації проєктних рішень. Метою дослідження є проаналізувати роль фахівців у генеративному процесі, виокремити основні переваги й недоліки технології, а також окреслити перспективи її розвитку. Методологічною основою слугує аналіз сучасних наукових праць, у яких розглядаються алгоритмічні принципи генеративного дизайну, його вплив на професійну діяльність архітекторів та дизайнерів, а також соціально-етичні наслідки впровадження нових цифрових інструментів. У результаті встановлено, що використання генеративних підходів дає змогу істотно прискорити процес пошуку форм і планувальних рішень, підвищити якість і варіативність проєктування та звільнити дизайнерів від повторюваних завдань. Водночас генеративний дизайн сприяє оптимізації матеріальних витрат, покращенню енергоефективності будівель та створенню адаптивних архітектурних рішень, що відповідають потребам сучасного урбанізованого середовища. Виявлено низку викликів, серед яких недосконале регулювання авторських прав, потреба у додатковій підготовці фахівців, а також ризик «знеособлення» творчого процесу. Особливу увагу приділено зміні ролі дизайнера та архітектора, які поступово переходять від класичної моделі автора до функції куратора, що координує взаємодію між алгоритмічними системами та творчими завданнями. Зроблено висновок, що інтеграція генеративних технологій у BIM-середовища, використання доповненої та віртуальної реальності, а також розвиток етичних принципів та правових механізмів здатні забезпечити сталій і відповідальній розвиток галузі. Крім того, подальше вдосконалення алгоритмічних методів і штучного інтелекту відкриває нові можливості для автоматизації проєктного процесу, водночас залишаючи за людиною ключову роль у прийнятті рішень. Робота буде корисною як для практиків, які впроваджують генеративний дизайн у своїх проєктах, так і для науковців, що досліджують перспективи цифрової трансформації архітектурно-дизайнерської сфери.

Ключові слова: генеративний дизайн, алгоритмічний дизайн, автоматизація дизайну, оптимізація, інноваційні методи дизайну, авторство, роль спеціаліста.

Andrii OTKYDACH,
orcid.org/0009-0008-1847-872X
Postgraduate student at the Department of Design and Architecture Fundamentals
Lviv Polytechnic National University
(Lviv, Ukraine) andrii.i.otkydach@lpnu.ua

GENERATIVE DESIGN AS A MODERN PARADIGM IN ARCHITECTURE AND DESIGN: THE ROLE OF SPECIALISTS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

The article reveals the content of the concept and relevance of generative design as an innovative approach in architecture and design based on the use of algorithms and software solutions for automated forming and optimisation of design solutions. The purpose of the study is to analyse the role of specialists in the generative process, to identify the main advantages and disadvantages of the technology, and to outline the prospects for its development. The methodological basis is the analysis of modern scientific works that discuss the algorithmic principles of generative design, its impact on the professional activities of architects and designers, as well as the socio-ethical implications of the introduction of new digital tools. As a result, it was found that the use of generative approaches can significantly speed up the process of finding forms and planning solutions, improve the quality and variability of design, and free designers from repetitive tasks. At the same time, generative design helps to optimise material costs, improve the energy efficiency of buildings, and create adaptive architectural solutions that meet the needs of the modern urban environment. A number of challenges have been identified, including imperfect copyright regulation, the need for additional training, and the risk of «depersonalising» the creative process. Particular attention is paid to the changing role of the designer and architect, who are gradually moving from the classical model of the author to the function of a curator who coordinates the interaction between algorithmic systems and creative tasks. It is concluded that the integration of generative technologies into BIM environments, the use of augmented and virtual reality, as well as the development of ethical principles and legal mechanisms can ensure

sustainable and responsible development of the industry. Furthermore, the further improvement of algorithmic methods and artificial intelligence opens up new opportunities for automating the design process, while retaining a key role in decision-making. The work will be useful both for practitioners who implement generative design in their projects and for researchers who study the prospects for digital transformation of the architectural and design industry.

Key words: *generative design, algorithmic design, design automation, optimization, innovative design methods, authorship, role of specialist.*

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку дизайну та архітектури зростає потреба у нових підходах до дизайну та проектування, які б відповідали динамічним змінам суспільства та технологічному прогресу. Адже сучасні дизайнери та архітектори все більше орієнтуються не лише на естетику, а й на параметри ефективності такі як: енергетична ефективність, комфорт, сталість тощо. У цьому контексті все більшої популярності набуває генеративний дизайн дозволяючи розширити межі креативності та знаходити нетривіальні рішення. На відміну від традиційного підходу, коли архітектор чи дизайнер поступово шукає форму на основі власного досвіду й натхнення, генеративний дизайн пропонує широкий простір альтернатив, створених за допомогою чітко прописаних правил чи алгоритмів (Celani, 2012).

Проблема полягає в тому, що незважаючи на зростання інтересу до генеративних технологій, багато митців ще не мають чіткого розуміння того, які обмеження та переваги дає цей метод та чи варто інтегрувати цей підхід у свою професійну діяльність. Брак ясного усвідомлення ролі спеціаліста та як саме він змінює традиційну роль архітектора і дизайнера в умовах часткової «автоматизації» творчого процесу може призвести до неправильної оцінки методів генеративного дизайну або ж до опору змінам, які відбуваються у професійній сфері. Водночас невизначеність щодо етичних, економічних та методологічних аспектів використання алгоритмів створює додаткові виклики, які вимагають ґрунтовного аналізу.

Відповіді на запитання мають важливе значення не лише для фахівців-практиків, а й для наукового середовища, яке формує нові методології в дизайні, архітектурі та інших творчих сферах. Таким чином, актуальність дослідження зумовлена потребою розкрити у науковому середовищі загальні принципи та переваги генеративного дизайну, висвітлити перспективи його розвитку, а також зрозуміти яка роль дизайнера та архітектора в цьому процесі.

Аналіз досліджень. У зарубіжній науковій літературі все частіше трапляються публікації, присвячені різноманітним аспектам генеративного дизайну: від алгоритмічних підходів до соціокультурних питань. Зокрема, у працях Костаса Терзідіса розглядаються базові концепції алгоритмічного підходу до формоутворення та підкреслю-

ється роль обчислювальних методів у розширенні діапазону можливих рішень. Зокрема, досліджуються методи оптимізації дизайнерських рішень, що дають змогу миттєво генерувати численні варіанти форм. Чимало науковців наголошують на можливостях збільшення ефективності процесу дизайну завдяки розширеному «пошуку рішень та високому рівню варіативності (Terzidis, 2006).

У працях Патріка Шумахера розглядається так званий «параметризм», в межах якої проектування та дизайн базується на складних програмних інструментах. Інша група досліджень звертається до питання взаємодії між дизайнерами та алгоритмами. Тут наголошується на ролі людини як креативного куратора і критика, який упорядковує, фільтрує та вдосконалює варіанти, запропоновані програмним середовищем (Schumacher, 2009).

Водночас в деяких дослідженнях наголошується, що недостатня технічна обізнаність або слабке розуміння можливостей алгоритмів можуть зменшувати цінність отриманого результату (Azadi та Nourian, 2021).

Окрім того, окремі дослідження зачіпають питання етики, авторського права та суспільних наслідків широкого впровадження генеративних методів у містобудівних та архітектурних проєктах. Наприклад, дискутується, чи може алгоритм вважатися співавтором і яким чином такий підхід впливатиме на професійну відповідальність архітектора (Eleftherios, 2012).

Таким чином, у закордонному науковому просторі вже сформована певна база знань про генеративний дизайн, однак узагальнені та концептуальні дослідження про його загальні можливості, ризики й зміну ролі архітектора та дизайнера залишаються актуальними й потребують подальшого розгляду.

Мета статті – дослідити існуючі погляди на генеративний дизайн як сучасну парадигму в архітектурі та дизайні, виокремити основні можливості та обмеження цього підходу, а також визначити роль спеціаліста (архітектора й дизайнера) у процесі генеративного проектування.

Виклад основного матеріалу. Генеративний дизайн – процес, що передбачає використання алгоритмів і програмних рішень для автоматичного створення дизайн-концепцій чи архітектурних форм. Генеративний дизайн працює з

алгоритмами, які самостійно генерують варіанти дизайну, перевіряють їх за критеріями та обирають найкращі рішення за різними критеріями (Di Filippo та ін., 2021).

Застосування генеративних алгоритмів набуло поширення завдяки розвитку комп'ютерних технологій і доступу до потужних платформ моделювання та обчислення. В умовах зростаючої складності завдань та необхідності забезпечення інноваційності проєктів, генеративний дизайн відкриває широкі можливості для дослідження великої кількості варіантів рішень, прискорення робочих процесів і підвищення ефективності втілення задуму.

Генеративний дизайн ґрунтується на ідеї співпраці людини і комп'ютера. Дизайнер задає певні вхідні умови або параметри (наприклад, цілі, обмеження, бажані функціональні й естетичні характеристики тощо), а алгоритм генерує безліч варіантів розв'язань. Цей процес може відбуватися на різних рівнях – від формоутворення (наприклад, у фасадному дизайні) до оптимізації конструктивних елементів і планувальних рішень (Di Filippo та ін., 2021) (Díaz та ін., 2021).

Завдяки своїй гнучкості та ефективності метод дає змогу досліджувати надзвичайно широкий спектр дизайн-концепцій, що було б складно або неможливо здійснити ручними методами. Це сприяє виходу за межі традиційного мислення та відкриває шлях до більш новаторських, естетично й функціонально оригінальних рішень. Такий процес передбачає ітеративність та оптимізацію, тобто кілька циклів генерації та відбору оптимальних варіантів, що дозволяє поступово вдосконалювати кінцеве рішення. Наприклад використання генетичних алгоритмів та методів топологічної оптимізації дозволяє формувати задачу як пошук оптимального рішення серед великої кількості варіантів. Функція адаптації формується на основі визначених критеріїв (наприклад, економічності, енергоефективності, естетичних параметрів), що дозволяє алгоритму «еволюціонувати» проєктні рішення (Di Filippo та ін., 2021).

Завдяки параметричності є можливість змінювати окремі параметри з подальшим автоматичним перерахунком всіх залежних елементів проєкту. Вхідними даними виступають як базові технічні параметри (геометричні, матеріальні, функціональні), так і суб'єктивні критерії естетики. Це створює можливість формування широкого простору рішень, де кожне з них оцінюється за сукупністю заданих критеріїв.

Автоматизація рутинних операцій зменшує кількість ручного втручання при розрахунках та

оптимізації, що дозволяє спеціалісту зосередитись на творчих аспектах проєкту.

Такий інноваційний підхід відкриває широке поле для експериментів і дозволяє дослідити нестандартні форми, які могли б залишитись поза увагою при традиційних методах дизайну. У застосуванні генеративного дизайну виділяють низку переваг, що зумовлюють його актуальність у сучасній практиці.

Алгоритмічні системи високопродуктивні і здатні за короткий час генерувати тисячі варіантів рішень, що значно прискорює етап пошуку оптимальної конфігурації. Архітектори й дизайнери можуть досліджувати ширший спектр форм, які були б складними або неможливими для ручного проєктування (Davis, Burry та Burry, 2011).

Застосування генеративного дизайну дозволяє скоротити час розробки концепцій на 30–40% порівняно з традиційними методами, завдяки автоматизації процесу генерації варіантів. Система може за кілька хвилин генерувати велику кількість планових альтернатив, що дозволяє архітекторам швидко оцінити різні варіанти та знайти найбільш оптимальне рішення з урахуванням як функціональних, так і естетичних критеріїв. Це добре ілюструє потенціал генеративного дизайну у контексті сучасних цифрових технологій (Lee, 2021).

Генеративні алгоритми можуть виявляти нестандартні рішення та розширяти творчі можливості, які важко або неможливо отримати традиційними методами або змодельовати вручну. Хоча система орієнтована на алгоритмічні операції, дизайнер все одно контролює параметри це дає баланс між керованістю та несподіваною варіативністю (Chen, Zhang та Zheng, 2024).

Генеративні системи можуть оптимізувати функціональні та естетичні параметри, знайти компроміс між технічними обмеженнями та креативною складовою проєкту. Проте, також у застосуванні цього методу виділяють і недоліки. Якщо початкові параметри будуть некоректними або неповними, результат може виявитися недосконалим чи навіть неприйнятним. Генеративний процес вимагає ретельного налаштування правил і лімітів, інакше або формується забагато нефункціональних варіантів, або втрачається потенційна «творча» складова (Chen, Zhang та Zheng, 2024).

Також дизайнери та архітектори мають отримати навички кодування для написання або використання алгоритмів та роботи з відповідним програмним забезпеченням, що не завжди відповідає традиційному навчанню у галузі. Необхідність

програмування й розуміння алгоритмів може стати серйозною перешкодою для фахівців без ІТ-підготовки (Celani, 2012).

Використання автоматизованих систем ставить питання щодо авторства, відповідальності за прийняті рішення та їх впливу на професійну етику в сфері архітектури та дизайну (Eleftherios, 2012).

Одним із ключових результатів дослідження є визначення змін у ролі фахівця під впливом генеративного дизайну. У зарубіжних дослідженнях озвучують думки про те, що архітектор або дизайнер переходить від традиційного «автора» до функції «куратора», який обирає з-поміж численних варіантів рішень ті, що найбільше відповідають загальній концепції проєкту. Дизайнер отримує можливість експериментувати з різноманітними варіантами, що сприяє розширенню творчих можливостей, але водночас вимагає високої компетенції у взаємодії з алгоритмічними інструментами. Архітектор чи дизайнер стають тими, хто визначає мету, формулює завдання та критерії оцінювання, контролює проміжні результати й робить остаточний вибір серед згенерованих рішень. Таким чином, людський фактор залишається вирішальним: алгоритм не може повноцінно замінити професійне бачення й особистий досвід, проте він може суттєво розширити креативні можливості, звільнивши спеціалістів від рутинних чи повторюваних завдань (Kolarevic, 2005) (Agkathidis, 2016) (Oxman, 2006).

Застосування генеративних методів змінює конфігурацію компетенцій архітекторів і дизайнерів. Тому, виділяють основні аспекти змін у підготовці фахівця. Спеціалісту потрібно не лише мати просторове мислення та художній смак, а й володіти навичками роботи з алгоритмами, системами програмування, аналізу великих даних тощо. Це стимулює появу нових профілів фахівців – так званих «обчислювальних дизайнерів» або «архітекторів-програмістів», які поєднують традиційні дизайнерські навички з алгоритмічною та аналітичною компетентністю (Oxman, 2017).

Архітектори й дизайнери, які вчасно опановують генеративні методи, отримують конкурентну перевагу й можуть пропонувати інноваційні рішення широкому колу замовників. Підвищення кваліфікації спеціалістів у сфері роботи з алгоритмічними та комп'ютерними інструментами є критично важливим для успішної інтеграції генеративного дизайну в професійну практику. Подальший розвиток програмних рішень з акцентом на інтуїтивний інтерфейс та адаптивність може значно знизити бар'єр входу для нових користувачів, розширюючи сферу застосування

генеративних технологій у різних галузях архітектури та дизайну (Oxman, 2008).

З огляду на стрімкий розвиток обчислювальних технологій та штучного інтелекту, перспективи застосування генеративного дизайну виглядають надзвичайно багатообіцяючими. Наразі виділяють основні напрямки подальшого розвитку такі як глибша кооперація генеративного дизайну та BIM (Building Information Modeling). Генеративний дизайн використовується для пошуку оптимальних рішень, а BIM – для перевірки їх реалістичності та документації. Об'єднання генеративних алгоритмів з інформаційним моделюванням будівель дозволить створити більш комплексні та точні проєктні рішення, що враховують усі етапи життєвого циклу об'єкта (Di Filippo та ін., 2021).

Також вивчається взаємодія з доповненою реальністю (AR) та віртуальною реальністю (VR) яка дозволить ефективніше оцінювати як естетичні, так і функціональні характеристики згенерованих рішень (Jennings та ін., 2022).

Генеративний дизайн продовжує еволюціонувати разом із розвитком штучного інтелекту, машинного навчання та потужних обчислювальних технологій. Використання машинного навчання для підбору найкращих варіантів серед тисяч або мільйонів можливих. Традиційні технології автоматизації здебільшого покращують продуктивність, але не завжди сприяють створенню креативних рішень. Інтеграція AI в початкові стадії дозволяє генерувати несподівані та інноваційні варіанти, що є основною метою сучасного архітектурного дизайну (Lee, 2021).

Швидкість та продуктивність генерації через прагнення дизайнера до інтерактивного середовища, де він може змінювати налаштування й миттєво бачити оновлені дані (Chen, Zhang та Zheng, 2024).

Подальше вдосконалення програмного забезпечення дозволить знизити поріг входу для спеціалістів, які не мають глибоких технічних знань, тим самим розширюючи коло користувачів генеративних методів. Підготовка кваліфікованих спеціалістів, здатних використовувати генеративні алгоритми, стає пріоритетом для архітектурних і дизайнерських шкіл. Розробка інтерактивних курсів і лабораторних практикумів сприяє формуванню глибшого розуміння методології (Celani, 2012).

Все дедалі частіше з'являються дослідження щодо впливу генеративних методів на авторське право, інтелектуальну власність, безпеку даних та конфіденційність. Будь-яке проєктне рішення має прихований моральний аспект, адже торкається життя людей та громад. Ігнорування цього

аспекту веде до соціальних та екологічних проблем (Fisher, 2018).

Оскільки генеративна система, а в майбутньому III, покладається на великі обсяги даних, конфіденційність і безпека даних стають критичними проблемами (Rane, 2023). Дизайнери та архітектори повинні переконатися, що будь-які дані, що використовуються, збираються етично та правильно. Тому розвиток у формуванні чітких правил і стандартів у використанні генеративних технологій допоможе врегулювати питання авторських прав, відповідальності та прозорості проєктного процесу (Fisher, 2018).

Висновки. Узагальнюючи результати дослідження, можна стверджувати, що генеративний дизайн постає новою парадигмою в архітектурі та дизайні, яка розширює межі креативності й забезпечує гнучкість та ефективність у проєктному процесі. Застосування алгоритмічних

підходів дає змогу прискорити й автоматизувати низку операцій, завдяки чому фахівці можуть зосереджуватися на ключових концептуальних та художніх аспектах. Одночасно з цим змінюються вимоги до компетенцій архітекторів і дизайнерів, які дедалі більше потребують знань у галузі програмування та вміння критично оцінювати генеровані алгоритмами рішення. Попри численні переваги – зокрема багатоваріантність, оптимізацію ресурсів і швидкість пошуку форм – залишаються відкритими етичні питання, пов'язані з авторством, прозорістю процесу та відповідальністю перед суспільством і довкіллям. Подальший розвиток генеративних технологій, зокрема через синтез із BIM та засобами VR/AR, а також формування чітких галузевих стандартів, здатні забезпечити збалансоване впровадження цих методів і сприяти якісним перетворенням у будівельній та творчій практиках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Applications of generative design in structural engineering / G. Díaz та ін. *Revista ingeniería de construcción*. 2021. Т. 36, № 1. С. 29–47. DOI: 10.4067/s0718-50732021000100029 (дата звернення: 21.02.2025).
2. Azadi S., Nourian P. GoDesign: A modular generative design framework for mass-customization and optimization in architectural design. 39th eCAADe Conference 2021: Towards a new, configurable architecture. 2021. С. 285–294. URL: https://www.researchgate.net/publication/353931074_GoDesign_A_modular_generative_design_framework_for_mass-customization_and_optimization_in_architectural_design (дата звернення: 21.02.2025).
3. Agkathidis A. *Generative design*. London : Quercus, 2016. 160 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/299457545_Generative_Design (дата звернення: 22.01.2025)
4. Celani G., Vaz C. E. V. CAD Scripting and Visual Programming Languages for Implementing Computational Design Concepts: A Comparison from a Pedagogical Point of View. *International Journal of Architectural Computing*. 2012. Т. 10, № 1. С. 121–137. DOI: 10.1260/1478-0771.10.1.121 (дата звернення: 24.02.2025)
5. Chen L., Zhang Y., Zheng Y. A performance-based generative design framework based on a design grammar for high-rise office towers during early design stage. *Frontiers of Architectural Research*. 2024. DOI: 10.1016/j.foar.2024.07.001 (дата звернення: 24.02.2025).
6. Davis D., Burry J., Burry M. Understanding Visual Scripts: Improving Collaboration through Modular Programming. *International Journal of Architectural Computing*. 2011. Т. 9, № 4. С. 361–375. DOI: 10.1260/1478-0771.9.4.361 (дата звернення: 24.02.2025).
7. Eleftherios S. Authorship in Algorithmic Architecture: from Peter Eisenman to Patrik Schumacher. Athens, 2012. 94 c. URL: https://www.academia.edu/2288786/Authorship_in_Algorithmic_Architecture_from_Peter_Eisenman_to_Patrik_Schumacher (дата звернення: 21.02.2025).
8. Fisher T. *The Architecture of Ethics*. London : Routledge, 2018. 242 c. DOI: 10.4324/9781351065740.
9. Generative Design for project optimization / A. Di Filippo та ін. *Conference Proceedings*. 2021. С. 110–115. URL: <https://ksiresearch.org/seke/dmsviva21paper/paper014.pdf> (дата звернення: 21.02.2025).
10. Generativr: Spatial interactions in virtual reality to explore generative design spaces / N. Jennings та ін. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts. 2022. Т. 1, № 6. DOI: 10.1145/3491101.3519616.
11. Kolarevic B. *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*, Taylor and Francis, New York, 2004, 320 p. DOI: 10.4324/9780203634561
12. Oxman R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*. 2008. Т. 29, № 2. С. 99–120. DOI: 10.1016/j.destud.2007.12.003 (дата звернення: 24.02.2025).
13. Oxman R. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*. 2006. Т. 27, № 3. С. 229–265. DOI: 10.1016/j.destud.2005.11.002 (дата звернення: 24.02.2025).
14. Oxman R. Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. *Design Studies*. 2017. Т. 52. С. 4–39. DOI: 10.1016/j.destud.2017.06.001 (дата звернення: 24.02.2025).
15. Rane N. Potential Role and Challenges of ChatGPT and Similar Generative Artificial Intelligence in Architectural Engineering. *SSRN Electronic Journal*. 2023. DOI: 10.2139/ssrn.4607767 (дата звернення: 24.02.2025).
16. Schumacher P. Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. *Architectural Design*. 2009. Т. 79, № 4. С. 14–23. DOI: 10.1002/ad.912 (дата звернення: 24.02.2025).
17. Terzidis, K. 2006. *Algorithmic architecture*. London : Routledge, 2006. 176 p. DOI: 10.4324/9780080461298

REFERENCES

1. Díaz, G., Herrera, R. F., Muñoz-La Rivera, F. C., & Atencio, E. (2021). Applications of generative design in structural engineering. *Revista ingeniería de construcción*, 36(1), 29–47. DOI: 10.4067/s0718-50732021000100029
2. Azadi, S., & Nourian, P. (2021). GoDesign: A modular generative design framework for mass-customization and optimization in architectural design. 39th eCAADe Conference 2021: Towards a new, configurable architecture, 285–294. URL: https://www.researchgate.net/publication/353931074_GoDesign_A_modular_generative_design_framework_for_mass-customization_and_optimization_in_architectural_design
3. Agkathidis, A. (2016). *Generative design*. Quercus, UK. URL: https://www.researchgate.net/publication/299457545_Generative_Design
4. Celani, G., & Vaz, C. E. V. (2012a). CAD Scripting and Visual Programming Languages for Implementing Computational Design Concepts: A Comparison from a Pedagogical Point of View. *International Journal of Architectural Computing*, 10(1), 121–137. DOI: 10.1260/1478-0771.10.1.121
5. Chen, L., Zhang, Y., & Zheng, Y. (2024). A performance-based generative design framework based on a design grammar for high-rise office towers during early design stage. *Frontiers of Architectural Research*. DOI: 10.1016/j.foar.2024.07.001
6. Davis, D., Burry, J., & Burry, M. (2011). Understanding Visual Scripts: Improving Collaboration through Modular Programming. *International Journal of Architectural Computing*, 9(4), 361–375. DOI: 10.1260/1478-0771.9.4.361
7. Eleftherios, S. (2012). Authorship in Algorithmic Architecture: from Peter Eisenman to Patrik Schumacher. URL: https://www.academia.edu/2288786/Authorship_in_Algorithmic_Architecture_from_Peter_Eisenman_to_Patrik_Schumacher
8. Fisher, T. (2018). *The Architecture of Ethics*. Routledge. DOI: 10.4324/9781351065740
9. Di Filippo, A., Lombardi, M., Marongiu, F., Lorusso, A., & Santaniello, D. (2021). Generative Design for project optimization. *Conference Proceedings*, 110–115. URL: <https://ksiresearch.org/seke/dmsviva21paper/paper014.pdf>
10. Jennings, N., Nandy, A., Zhu, X., Wang, Y., Sui, F., Smith, J., & Hartmann, B. (2022). Generativr: Spatial interactions in virtual reality to explore generative design spaces. *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*, 1(6). DOI: 10.1145/3491101.3519616
11. Kolarevic, B. (2005) *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*, Taylor and Francis, New York. DOI: 10.4324/9780203634561
12. Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*, 29(2), 99–120. DOI: 10.1016/j.destud.2007.12.003
13. Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229–265. DOI: 10.1016/j.destud.2005.11.002
14. Oxman, R. (2017). Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. *Design Studies*, 52, 4–39. DOI: 10.1016/j.destud.2017.06.001
15. Rane, N. (2023). Potential Role and Challenges of ChatGPT and Similar Generative Artificial Intelligence in Architectural Engineering. *SSRN Electronic Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.4607767
16. Schumacher, P. (2009). Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. *Architectural Design*, 79(4), 14–23. DOI: 10.1002/ad.912
17. Terzidis, K. 2006. *Algorithmic Architecture*. Routledge. London. DOI: 10.4324/9780080461298