

УДК 72.01:004.9:69.05

**3D-ДРУК ЯК НОВА ЕСТЕТИКА ТА ТЕХНОЛОГІЯ В ДИЗАЙНІ
АРХІТЕКТУРНИХ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ
БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Андрух Сергій Леонідович,

к.т.н., доцент

Галушка Сергій Анатолійович

ст. викладач

Сумський національний аграрний університет

м. Суми, Україна

s.andrukh@snau.edu.ua

Анотація: У статті розглядається 3D-друк як інноваційна технологія, яка трансформує підходи до проєктування та виготовлення архітектурних деталей. Аналізуються можливості створення складних форм, оптимізація матеріалів, індивідуалізація естетики будівельних елементів і вплив цифрових технологій на архітектурну практику. Особливу увагу приділено сучасним матеріалам для 3D-друку в архітектурі, таким як бетонні суміші, полімери, біоматеріали та композити. Узагальнено результати новітніх досліджень, проаналізовано приклади використання технології у світі та виявлено перспективи її подальшого впровадження. Підкреслено значення 3D-друку для формування нової архітектурної естетики, що поєднує функціональність, сталий розвиток і виразність форм.

Ключові слова: 3D-друк, архітектурний дизайн, цифрове виробництво, сучасні матеріали, естетика, бетон, інновації, параметричне моделювання, будівництво.

Список літератури

Вступ

З початку XXI століття архітектура дедалі активніше інтегрує цифрові інструменти проєктування, зокрема параметричне моделювання, робототехніку та 3D-друк. 3D-друк, або адитивне виробництво, вже давно вийшов за межі макетування і набув стратегічного значення у створенні будівельних елементів. Завдяки йому стало можливим виготовляти складні геометричні форми, що

раніше вимагали трудомісткої ручної роботи або були неможливими з огляду на технологічні обмеження.

Нині архітектурні студії та науково-дослідні лабораторії активно експериментують із новими видами будівельних матеріалів, придатних до 3D-друку, зокрема із бетонними сумішами, термопластиками, полімерними композитами та біоактивними матеріалами. Це не лише відкриває шлях до формальної інноваційності, а й дає змогу досягти вищого рівня екологічності, раціонального використання ресурсів та адаптивності проєктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останніми роками спостерігається зростання кількості досліджень, присвячених використанню 3D-друку в архітектурі та будівництві. У роботах [1] представлено концепцію Contour Crafting як методу автоматизованого будівництва, [2] дослідили нові формули бетонів для 3D-друку, що забезпечують швидке твердіння без втрати міцності.

Група D-Shape (Італія) активно використовує спеціальні мінеральні склади для друку декоративних та несучих елементів будівель. У китайському проєкті компанії [7] застосовано рецикльовані матеріали у створенні друківаних житлових блоків.

Крім того, архітектори, такі як [10] і BIG, активно експериментують із параметричними формами, що ідеально поєднуються з технологіями 3D-друку. Зокрема, павільйони, створені за допомогою роботизованого друку, стали візуальними символами архітектурного майбутнього.

Мета і завдання дослідження

Мета дослідження:

Визначити значення 3D-друку як інноваційної технології та естетичної практики в дизайні архітектурних деталей із застосуванням сучасних будівельних матеріалів.

Основні завдання:

1. Дослідити властивості сучасних матеріалів, що використовуються в 3D-друку для архітектурних потреб.

2. Проаналізувати вплив технології 3D-друку на естетичну складову архітектурних форм.
3. Розглянути приклади використання 3D-друку в архітектурному дизайні.
4. Визначити переваги та обмеження даної технології у контексті сталого будівництва.

Основна частина дослідження

1. Суть технології 3D-друку в архітектурі

3D-друк в архітектурі реалізується через пошарове нанесення матеріалу, що твердне за заздалегідь запрограмованою цифровою моделлю. Залежно від типу використовуваного матеріалу, застосовують різні методи: екструзія бетону, FDM-друк полімерів, селективне спікання тощо.

Рисунок 1. Схема принципу роботи бетонного 3D-принтера

(Зображення подається з позначенням: подача суміші → екструдер → шарове нанесення → твердіння)





Пошарове нанесення бетонної суміші.

2. Сучасні будівельні матеріали для 3D-друку

Тип матеріалу	Властивості	Приклади використання
Бетон	Міцний, формотривалий, недорогий	Стіни, перегородки, фундаменти
Полімери	Легкі, гнучкі, легко формуються	Декоративні елементи, фасадні панелі
Композити	Стійкі до зношування, довговічні	Покриття, вклядиші, унікальні форми
Біоматеріали	Екологічні, біорозкладні	Тимчасові конструкції, ландшафтний дизайн

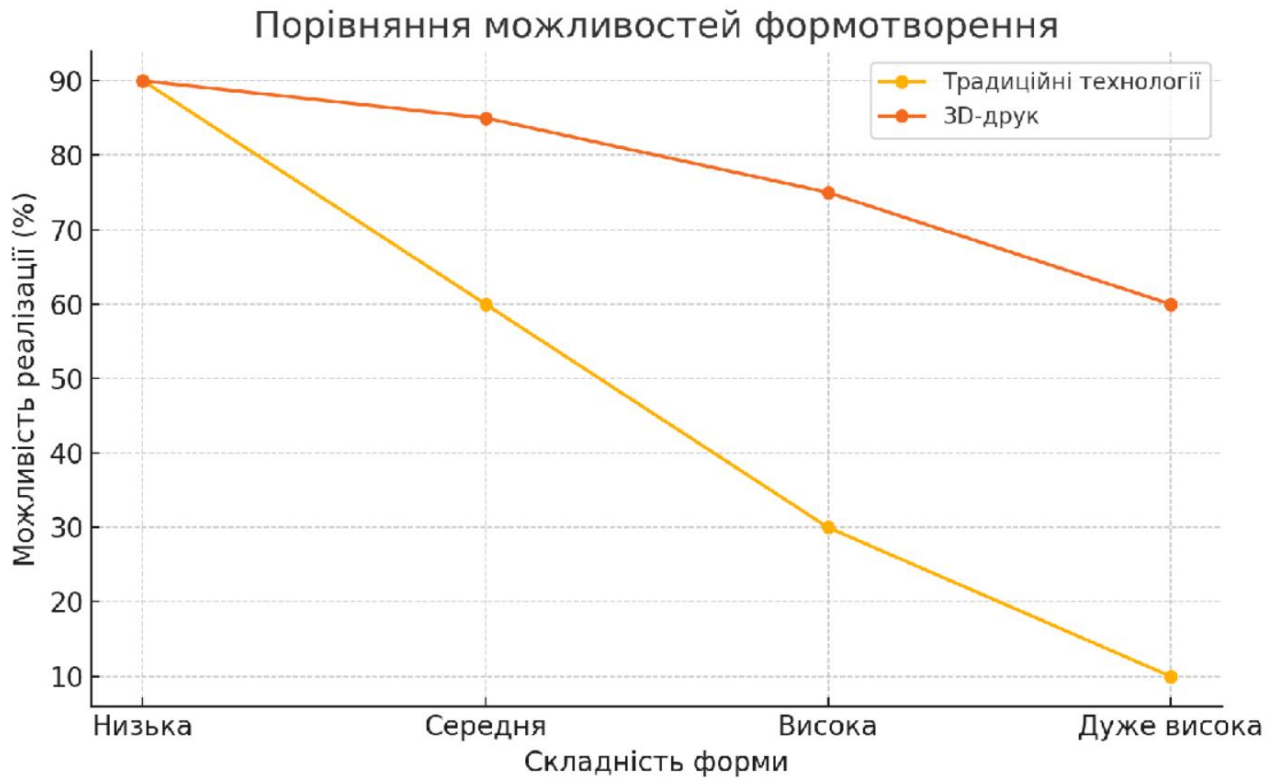
3. Естетика, яку відкриває 3D-друк

3D-друк дозволяє створювати:

- органічні форми (без прямолінійних обмежень);
- параметричні патерни з точністю до міліметра;
- багат шарові орнаменти;
- складні криволінійні структури, які неможливо отримати традиційними методами.

Графік 1. Порівняння формотворчих можливостей традиційних технологій і 3D-друку

(по осі X – складність форми, по осі Y – доступність реалізації)



4. Приклади архітектурних проєктів із використанням 3D-друку

- **Проект TECLA (Італія)** – куполоподібна структура з глиняної суміші, надрукована з використанням місцевих матеріалів.
- **Будинок у Дубаї** – офісна будівля, повністю надрукована на бетонному 3D-принтері.
- **MX3D Bridge (Нідерланди)** – сталевий пішохідний міст, надрукований методом WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing).

5. Переваги та виклики 3D-друку в архітектурі

Переваги:

- мінімізація будівельних відходів;
- швидке виготовлення унікальних деталей;
- можливість створення персоналізованих елементів;
- висока точність та автоматизація.

Обмеження:

- потреба в спеціалізованому обладнанні;
- обмеження в масштабі конструкцій;

- необхідність високотехнологічного контролю якості матеріалів.

Висновки

3D-друк виступає не лише інструментом технологічного прориву, а й формує нову архітектурну естетику, що поєднує експериментальність, органіку форм і сталий розвиток. Завдяки інтеграції сучасних будівельних матеріалів ця технологія набуває універсального застосування в дизайні архітектурних деталей – від декоративних елементів до несучих конструкцій. Найближче майбутнє архітектури буде безпосередньо пов'язане з подальшим розвитком 3D-друку, адаптацією нормативної бази до нових формотворчих методів і вдосконаленням будівельних матеріалів, орієнтованих на цифрове виробництво.

Список літератури

1. Khoshnevis, B. (2018). *Automated Construction by Contour Crafting*. Springer.
2. Bos, F.P., Salet, T.A.M. (2020). *3D Concrete Printing Technology*. Elsevier.
3. Dini, E. (2020). *The D-Shape Project*. Journal of 3D Printing in Construction, 5(3), 89–102.
4. Gosselin, C., Duballet, R., Roux, P. et al. (2016). *Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete*. Automation in Construction, 67, 169–176.
5. Lim, S., Buswell, R.A., Le, T.T., et al. (2012). *Development of a viable 3D concrete printing system*. Automation in Construction, 21, 262–268.
6. Zareiyan, B., Khoshnevis, B. (2017). *Effects of interlocking on interlayer adhesion and strength of structures in 3D printing of concrete*. Automation in Construction, 83, 212–221.
7. Winsun Group (2020). *3D Printed Buildings in China: Report of Use Cases*.
8. Herzog, M. (2022). *Parametric Aesthetics and Digital Craft in Architecture*. Architectural Review, 228(3), 32–45.
9. MX3D (2021). *The World's First 3D-Printed Steel Bridge*. Retrieved from <https://mx3d.com>
10. Zaha Hadid Architects (2023). *Digital Fabrication and Computational Design*. ZHA Research Reports.