

УДК 721

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЇХ У СТВОРЕННІ СУЧАСНИХ АРХІТЕКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ

С. В. Марчук

здобувачка вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, 1 курс,
спеціальність «Архітектура та містобудування»,
навчально-науковий інститут будівництва та архітектури

Науковий керівник – к.т.н., доцент В. І. Літницький

*Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна*

У статті показано перспективи застосування 3D-принтерів у створенні сучасних архітектурних об'єктів. Проаналізовано основні існуючі технології 3D-друку та наведено їх порівняльну характеристику. Відмічено основні переваги та недоліки 3D-друку з використанням різних матеріалів.

Ключові слова: адитивні технології, 3D-будівельний принтер, адгезія, міцність на стиск.

The article shows the prospects for using 3D printers in creating modern architectural objects. The main existing 3D printing technologies are analyzed and their comparative characteristics are given. The main advantages and disadvantages of the developed technologies using various materials are indicated.

Keywords: additive technologies, 3D construction printer, adhesion, compressive strength.

Технологія 3D-друку нині є однією з найбільш перспективних. Вона дозволяє реалізовувати просторові об'єкти послідовним нанесенням шарів будівельної суміші за допомогою 3D-принтера. Використання 3D-друку створює умови для енергоефективного будівництва завдяки мінімізації тривалості технологічного процесу виготовлення конструкцій і споруд, витрат на матеріали і робочу силу, забезпечує створення різних об'ємних форм без використання додаткової опалубки.

Технологія адитивного виробництва, зокрема з використанням будівельних 3D-принтерів, за останні роки досягла значного прогресу та поширення в світі [1]. Будівельні 3D-принтери – пристрої, що використовують технологію екструзії (видавлювання будівельної суміші з сопла принтера) (рис. 1), призначені для друку як малих, так і великих архітектурних форм (залежно від моделі та характеристик принтера).



Рис. 1. Пошарове укладання будівельної суміші за допомогою 3D-принтера

На сьогодні розроблено та реалізовано чимало різних масштабних проєктів із використання 3D-друку при створенні сучасних архітектурних об'єктів [2]. Поштовхом до використання цієї технології є вирішення питань продуктивності в будівельному секторі. Однак в останні роки розширення області застосування 3D-друку, або як його ще називають – «цифрового будівництва», значною мірою було зумовлене бажанням розширити простір для проєктування архітекторам, зробивши доступним будівництво дедалі складніших архітектурних форм та структур. Це стало можливим за допомогою 3D-принтера завдяки автоматизованому проєктуванню [3]. Згідно з цим можливості цифрового виробництва все частіше просуваються як засіб зменшення екологічного впливу будівельного сектору, що є досить важливим фактором поряд з підвищенням його продуктивності [4]. Ключовим аргументом на користь цього є те, що конструкції, виготовлені цифровим способом, використовуватимуть матеріал лише там, де це необхідно, таким чином забезпечуючи значну економію матеріалів [1; 2; 4].

Ціль статті полягала в дослідженні та порівнянні існуючих адитивних технологій, зокрема з використанням 3D-принтера.

На сьогодні розроблено різними виробниками по всьому світі значну кількість 3D-принтерів та технологій зведення будівель і споруд з їх допомогою. У роботах [1; 5] досліджено технології 3D-друку з урахуванням особливостей 3D-принтерів і споруд. Аналіз літературних джерел дозволив систематизувати та узагальнити особливості технології 3D-друку, що наведені нижче у таблиці, а також виокремити їх переваги та недоліки.

Таблиця

Найбільш поширені технології 3D-друку та їх особливості

№	Розробник (країна)	Будівельна суміш, що використовується	Властивості суміші			Особливості технології	
			Густина, кг/м ³	Міцність, МПа		переваги	недоліки
				на згин	на стиск		
1	WinSun (Китай)	Піщано-цементна суміш з використанням бетонного брухту, скловолокнами і спеціальними добавками	2000–2200	8,2	34,5	Використання техногенної сировини – бетонного брухту, мікро-армування	Наявність нефункціональної опалубки для забезпечення стійкості конструкції, нерівна вертикальна поверхня
2	UTU (Україна)	Високоміцна дрібнозерниста фібробетонна суміш C20/25	2200–2350	-	від 30	Дисперсне армування, Використання місцевих матеріалів	Низька адгезійна міцність між накладеними шарами, нерівна вертикальна поверхня
3	Vet-Abram (Словенія)	Торкретбетон з використанням піску фракції 0–4 мм та гравію фракції 4–8 мм	2300–2350	-	-	Розроблений практично безусадочний склад суміші	Наявність нефункціональної опалубки

продовження таблиці

4	Contour Crafting (США)	Цементно-піщаний розчин для опалубки та бетон для конструкції	2250	-	45-50	Досить рівна вертикальна поверхня, армування	Низька адгезійна міцність між накладеними шарами
5	Loughborough University (Англія)	Цементний бетон	2250-2350	12-13	100-110	Висока міцність при стиску, присутність армування конструкцій	Нерівна вертикальна поверхня
6	CyBe Construction (Нідерланди)	Дрібнозернистий цементний бетон з прискорювачами твердіння	2200	6	45	Досить рівна вертикальна поверхня, швидке твердіння та набір міцності конструктивних шарів	Погана синхронізація швидкості подачі суміші і руху сопла 3D-принтера
7	MIT Media Lab (США)	Пориста поліуретанова опалубка, заповнена бетоном	-	-	-	Пориста опалубка виконує теплоізоляційну функцію	Неконтрольовані геометричні параметри конструкцій

Слід відмітити, що в табл. 1 зазначений український 3D-принтер компанії UTU, що зображений на рис. 2 безпосередньо в процесі пошарового «друку» будівлі. Цей принтер було використано для зведення житлового будинку в межах благодійного проекту відбудови житла для однієї з постраждалих родин, в якій було зруйновано будинок в ході бойових дій в м. Ірпінь (рис. 3). Будинок було зведено за 58 робочих годин.



Рис. 2. Будівельний 3D-принтера компанії UTU



Рис. 3. Будинок зведений за допомогою 3D-принтера

Окрім зведення будинків, в останні роки в Україні та за її межами спостерігається швидкий розвиток дизайн-індустрії. Це зумовлено потребою в неординарних дизайнерських рішеннях при проектуванні та зведенні малих архітектурних форм (рис. 4). В такому випадку 3D-принтер дозволяє втілити в реальність цікаві і незвичайні ідеї.



Рис. 4. Малі архітектурні форми

Таким чином, можна стверджувати, що технології 3D-друку дозволяють забезпечувати швидкісне автоматизоване зведення об'єктів, у тому числі складної просторової форми, з мінімізацією витрати матеріалів та робочої сили. Основними недоліками 3D-друку можна вважати нерівну вертикальну поверхню та низьку адгезійну міцність між шарам, яка може призводити до зниження фізико-механічних характеристик конструкції.

1. Perrot A., Rangeard D., Courtaillé E. 3D printing of earth-based materials : Processing aspects. *Constr. Build. Mater.* 30 May 2018. Vol. 172. P. 670–676.
2. Бетони нового покоління / Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський, О. М. Бордюженко, В. В. Марчук, Ю. О. Рубцова. Рівне : НУВГП, 2021. 317 с.
3. Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *Procedia Engineering*. 2016. № 151. Pp. 292–299.
4. Дворкін Л. Й., Марчук В. В., Зятюк Ю. Ю. Цементно-шлакові суміші для 3d-принтера. *Будівельні матеріали та виробу* : наук.-техн. збірник. Київ, 2021. Вип. 1–2 (102). С. 14–19.
5. Dvorkin L., Konkol J., Marchuk V., Huts A. Efficient, Fine-Grained Fly Ash Concrete Based on Metal and Basalt Fibers. *Materials*. 2023. Vol. 16. P. 3969. doi:10.3390/ma16113969