

УДК 355.7: 624.01: 725.18

Кисіль О.В.,  
Науково-дослідного інституту історії та теорії  
архітектури, містобудування та дизайну, м. Київ

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНОГО 3D ДРУКУ В ВІЙСЬКОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

*Описано основні варіанти 3D будівельних технологій, відомих на сьогоднішній день та зроблено аналіз будівельних показників порівняно зі звичайними технологічними схемами.*

*Ключові слова: будівельний 3D друк, фортифікація, фіброармування.*

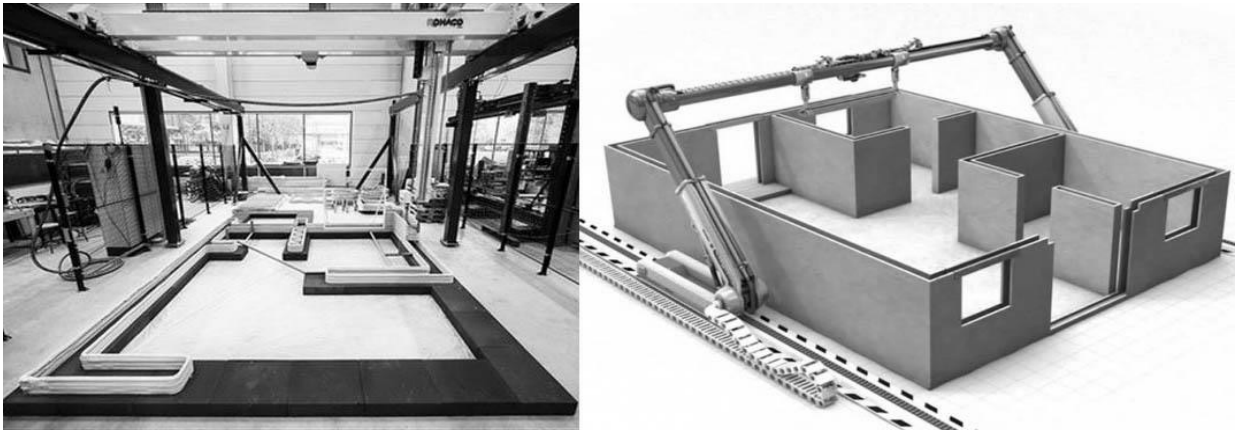
Цифровий 3D друк вже знайшов своє застосування в медицині, космонавтиці, виробництві готової продукції і прототипуванні. Хоча його прийнято вважати одним з головних відкриттів двадцять першого століття, в дійсності такі технології з'явилися на кілька десятиліть раніше. Родоначальником галузі став Чарльз Халл, засновник компанії 3D Systems.

У 1986 році було зібрано перший в світі стереолітографічний 3D-принтер, завдяки чому цифрові технології зробили величезний крок вперед. Приблизно в той же час з'явився перший в світі FDM-апарат. З тих пір, ринок тривимірного друку став стрімко зростати і поповнюватися новими моделями унікального друкарського обладнання. В 1995 студенти Массачусетського технологічного інституту, Джим Бредт і Тім Андерсон, впровадили технологію пошарового синтезу матеріалу в корпус звичайного настільного принтера. Метод створення об'єкту шляхом пошарового додавання сировини назвали адитивним. Так 3D друк став доступний у побуті та мобільний.



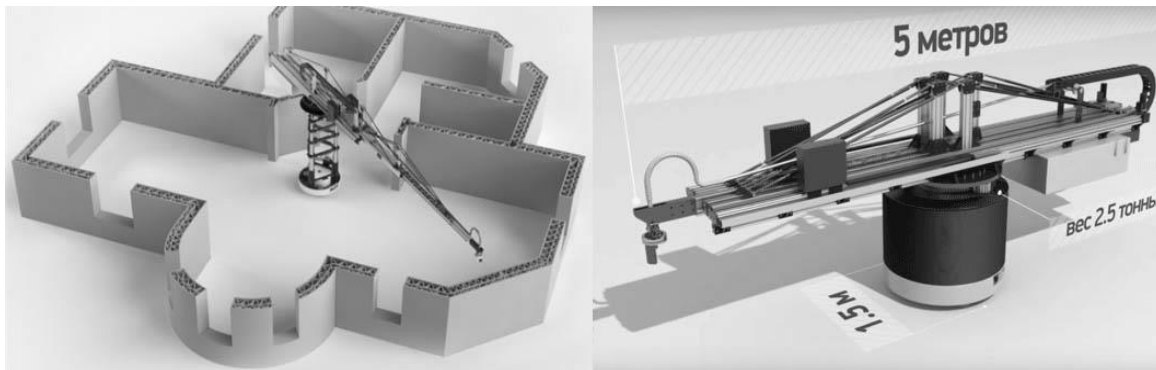
Мал. 1. Перші надруковані будівельні об'єкти поблизу Шанхаю, Китай.

Саме ці можливості приваблюють винахідників у галузі інноваційного будівництва до застосування 3D друку. Сьогодні існує вже декілька принципових схем приладів такого типу. Перша велика презентація відбулася у Китаї у 2014 році. Було надруковано 10 будинків типу соціального житла. (Мал. 1). Конструкція обладнання складається з металевого каркасу – направляючих, по яким їздить по осі X та Y екструдер, до якого під тиском по шлангу подається спеціальний бетонний розчин. Така технологічна схема сама розповсюджена на сьогоднішній день. Аналоги з деякими особливостями є у США, Словаччині, Італії, Нідерландах, Росії. (Мал.2).



Мал. 2. Варіанти розповсюдженої конструкції будівельних 3D принтерів. Принтер «Contour Crafting» професора Берока Хошневіса з університету Південної Каліфорнії, США (справа).

Особливістю такого метода є обмежений об'єм об'єкту, бо принтер розташований безпосередньо над всією будовою зовні. Окрім того, майданчик під забудову повинен бути ідеально рівним, враховуючи необхідність екструдера пересуватися точно по горизонталі. Китайські спеціалісти вирішили це питання шляхом виробництва частин будинку у цеху з наступним транспортуванням їх до будівельної локації. Швидкість, яку обіцяють виробники, близько 1м<sup>2</sup> за годину. Для чорнил у Китаї використано відходи будівельних виробництв з додатковими речовинами для скорішого застигання розчину. Питання армування вирішено поки що стандартним шляхом, але у Європі є досвід використання арматури з фіброволокна. До найважливіших властивостей фіброармування для процесу будівельного друку відноситься його легкість і збільшення пластичних властивостей цементної суміші. Такий тип армування розчину використовують і спеціалісти з Aris-3D, вихідці з Іркутська, що працюють в Сан-Бруно, Каліфорнія. Вони також проводять дослідження щодо можливості використання геополімерного бетону. Але сам принтер має незвичну конструкцію, яка дуже схожа з промисловою «роботизованою рукою» з телескопічною базою по вертикалі та горизонталі. (Мал.3).



Мал. 3. Принтер Apis-Cor3D, Сан-Бруно, Каліфорнія, США

Будівельний 3d принтер «Apis-Cor 3D» при своїх відносно невеликих габаритах має зону друку площею 192 кв. м, а для його доставки досить стандартної будівельної техніки.

Принтер друкує незнімну опалубку для залізобетонного каркаса, самонесучі стіни і перегородки. Технологія, що розроблено у даному варіанті, найбільш мобільна та гнучка до різних розмірів об'єкту та умов будівництва, використовує прогресивні матеріали для чорнил (фіброармований бетон та геополімерний бетон).

Головні технічні переваги найвдаліших варіантів будівельних 3D принтерів:

- Доставка обладнання звичайним вантажним транспортом
- Монтаж обладнання на будь-якій поверхні без попередньої підготовки будівельного майданчику та налагоджувальних робіт.
- Швидкий запуск обладнання – не більше півгодини.
- Людські трудовитрати – мінімальні, у процесі друку – взагалі один оператор.
- Можливість спорудження об'єкту будь якої конфігурації.
- Виробники провідної моделі принтеру доводять статистику економії вартості возведення каркасу будівлі до 70%.
- При належному контролі моделі споруди, що закладена в принтер, унеможливлення помилки через «людський фактор» та відповідність до нормативів.
- Можливість контролю витрат чорнил – бетонних розчинів.

Всі ці фактори вказують на великі перспективи використання 3D друку у військовому фортифікаційному будівництві. Наприклад відомо, що в США цей метод зацікавив військових інженерів Південної Каліфорнії, де доктором Бероком Хошневісом був розроблений робот-принтер для автоматичного будування.

У своїй розробці вчений використовує технологію «Contour Crafting», що дозволяє мінімізувати трудовитрати: робочим потрібно лише встановити по ко-

нтуру майбутнього будинку рейки для руху робота-будівельника і на них сам 3D-принтер. Рухаючись уздовж рейок, робот накладатиме бетонну суміш до завершення будівництва. Після цього робочим залишиться лише встановити вікна та двері в підготовлені отвори.

Слід зауважити, що наявність в конструкціях польових фортифікаційних споруд обов'язкових металевих елементів для опору впливу вибухової хвилі, теж може бути вирішено за рахунок металевого 3D друку. За для цього можливе використання принтеру, що працює за принципом зварювального газового напівавтомату, екструдер якого керується «роботизованою рукою». Такий підхід в сфері 3D друку досліджують інженери «MX3D» у Амстердамі, Нідерланди. (Мал. 4).



Мал. 4. Зварювальний газовий напівавтомат для 3D друку металевих конструкцій «MX3D», Амстердам, Нідерланди.

Висновки останніх часів довели, що Україна потребує реформування підходів, як до військових технологій взагалі, так і до будівництва захисних та стратегічних споруд. Курс на євроінтеграцію та підвищення рівню життя потребує розробку та впровадження нових технологій, а також дослідження закордонного досвіду. На цьому підґрунті необхідно формування нових, східних з європейськими, стандартів та нормативної бази. На перший план виходять такі показники, як:

- Швидкість возведення в умовах безпосередньої загрози бойових дій;
- Максимальна безпека особистого складу в процесі будівництва в умовах бойових дій;

- Достатні характеристики міцності споруди з урахуванням ступеню ураження типами сучасної зброї;
- Економічність;
- Відповідність до норм та виключення можливості помилок у проектуванні та технології будівництва.
- Високий рівень маскуванню об'єктів в умовах можливостей сучасних супутникових систем стеження та використання безпілотних літальних апаратів – розвідників.

З попереднього аналізу видно доцільність проведення дослідження щодо використання технології будівельного 3D друку у військовій галузі. Паралельно з цим, необхідна розробка параметричних моделей об'єктів різного типу за новими стандартами з можливістю їх миттєвого адаптування до конкретного військового завдання та переведення таких моделей в G-code (машинний код, зрозумілий для друку).

Кожен відомий на сьогодні метод друку має ряд питань та проблем для вирішення, зокрема – необхідність здешевлення технології, що вкрай необхідно через складне фінансування армії та велику потребу в багатьох нових фортифікаційних спорудах.

### **Бібліографічний перелік:**

1. Министерство обороны СССР. Войсковые фортификационные сооружения. Ред. А.А. Ермолаев, М., Военное издательство, 1984 г.;
2. Інтернет-ресурс <http://apis-cor.com/>;
3. Інтернет-ресурс <http://mx3d.com/>;
4. Стаття «Друк будівель на 3D принтері» Інтернет-ресурс <http://make-3d.ru/articles/3d-printer-dlya-pechati-domov/>.

### **Аннотація**

В статье описаны основные варианты 3D строительных технологий, известных на сегодняшний день, и сделан анализ строительных показателей, по сравнению с обычными технологическими схемами.

Ключевые слова: строительная 3D печать, фортификация, фиброармирование.

### **Annotation**

The article describes the main options for 3D building technology, known to date, and made an analysis of building performance, compared to conventional flow charts.

Keywords: 3D building printing, fortification, fiber reinforcement.