

УДК 624.012.4:693.546

## СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ 3D-ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

Автор – Гусєв В. О., аспір.

Науковий керівник – Нікіфорова Т. Д., докт. техн. наук, проф.  
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

**Постановка проблеми.** 3D-друк – це процес друку, який включає в себе створення тривимірних об'єктів з цифрових моделей шляхом накладання великої кількості тонких шарів швидковисихаючого матеріалу один на одного [1]. Технологія стала можливою завдяки значному прогресу як в комп'ютерних технологіях, так і в технологіях матеріалів, які відбулися в останні десятиліття. У будівельній галузі було проведено багато нових експериментів, щоб вивчити весь потенціал, який може принести 3D-друк. Однак ці експерименти дуже фрагментарні й уривчасті [2], тому необхідний критичний огляд сучасного розвитку 3D-друку в будівельній галузі.

**Мета дослідження.** Аналіз сучасного стану процесу 3D-друку в будівельній галузі, виявлення основних проблем та перспектив розвитку 3D-технологій у найближчому майбутньому.

**Результати дослідження.** Метод сучасного 3D-друку починається зі створення цифрової 3D-моделі, яка розробляється за допомогою програм 3D-моделювання. Потім вона експортується в файл в оригінальному форматі обміну 3D-даними. Для індустрії 3D-друку найбільш популярним форматом є STL (стандартний формат мови тесселяції). Потім збережені дані обробляються, щоб розбити модель на зрізи. В результаті виходить набір двовимірних контурних ліній, які потім обробляються для генерації керуючих команд, що дозволяє проводити процес позиціонування голівки або лазерних променів 3D-обладнання [3].

Щодо програмного забезпечення (ПЗ) для 3D-друку, його слід розділити на декілька категорій:

1. ПЗ для моделювання. Згідно з опитуванням, проведеним 3DHubs, Solidworks є найбільш широко використовуваним програмним забезпеченням САПР. За ним слідують рішення AutoCAD, Fusion 360 та Rhino [4].

2. Слайсери – це центральне програмне забезпечення в процесі 3D-друку. Для 3D-принтерів FDM існують дві категорії слайсерів: універсальне програмне забезпечення з відкритим кодом, таке як Cura (розроблене Ultimaker), Repetier або Slic3r або платне, як Simplify3D, але також запатентоване програмне забезпечення, таке як ReplicatorG на MakerBot, ZSuite на Zortrax або Voxelizer на ZMorph [4].

3. ПЗ для відновлення файлу STL перед друком. Створене для відновлення пошкоджених файлів STL. Серед найбільш відомих – NetFabb або MakePrintable [4].

4. ПЗ для управління друком. Серед наявного на сьогодні програмного забезпечення можна назвати Octoprint, Astroprint або PrintRun. У нішу також увійшли видавці програмного забезпечення, такі як Dassault Systèmes, Siemens, 3YOURMIND [4].

Двовимірні зображення залишаються основним методом реалізації проектів в будівельній галузі, потрібно чимало часу для створення цифрових моделей для 3D-друку [3]. Інформаційне моделювання будівель (BIM) – це один із методів цифрового уявлення фізичних і функціональних характеристик об'єкта [5]. Він охоплює не тільки геометричну інформацію, але й характеристики матеріалу, просторові співвідношення і інформацію про виробництво [6].

При ВІМ моделюванні визначаються параметри, що дозволяють встановлювати співвідношення з різними об'єктами. Таким чином, одна зміна в об'єкті викликає автоматичну зміну пов'язаних об'єктів [7]. ВІМ зарекомендував себе як ефективний метод для полегшення впровадження 3D-друку в будівельній галузі [7]. ВІМ можна використовувати при 3D-друці малих і великих моделей і будівель.

Взаємодія між 3D-друком і ВІМ розширює можливості швидкого виробництва 3D-об'єктів з ВІМ-дизайну без спеціального або дорогого виробничого обладнання [6]. Більшість інструментів ВІМ підтримують процес експорту для створення файлу в належному форматі (наприклад, STL), який може бути безпосередньо перетворений в набір інструкцій для друку [8]. Крім того, постачальники ВІМ, такі як Autodesk, співпрацюють з постачальниками 3D-обладнання, щоб ще більше спростити процес 3D-друку з моделей ВІМ. Інтегрований в 3D-друк метод ВІМ підтримує творчий процес дизайнерів зі створення варіацій одного або різних артефактів на різних етапах проектування [8].

Метод ВІМ може допомогти у дослідженні надрукованих проектів на рівні продуктивності і збірки, але оцінка їхнього життєвого циклу все ще залишається невизначеною. Ступінь індивідуалізації друкованих об'єктів ще не досліджувалася емпірично в будівельній галузі. Очікується, що вирішивши ці проблеми, будівельна галузь зможе максимізувати переваги 3D-друку.

Технологія тривимірного друку будівель і споруд, безперечно, є інноваційною та перспективною, однак, при її застосуванні водночас потрібно вирішувати низку важливих питань:

1. Відсутність нормативної та законодавчої баз для будівництва будівель за допомогою 3D-принтера обмежує його застосування для масової забудови, тому великі будівельні компанії не купують будівельні принтери. На сьогодні дані пристрої застосовуються в основному для малоповерхового та малогабаритного індивідуального будівництва, а також для виготовлення малих архітектурних форм.

2. Висока вартість обладнання для 3D-друку.

3. Технологія будівництва з застосуванням 3D-принтера вимагає особливих характеристик будівельної площі (зокрема, для укладання рухомих колій, необхідно слідкувати за поверхневими характеристиками будівельних майданчиків, а також здійснювати безперервний контроль за суміщенням їх паралельності для забезпечення високої точності друку).

4. Так як розміри будівельного принтера обмежені, обмежені також і габарити об'єктів будівництва.

5. Відсутня універсальна суміш для друку у зв'язку з тим, що різні виробники застосовують різні бетонні суміші, експериментуючи із складовими компонентами та їх пропорціями.

6. Вимоги до складу бетонної суміші досить високі.

7. Будівництво за допомогою технології 3D-друку обмежується теплим періодом року, для будівництва в зимовий період потрібно застосовувати опалювальні тимчасові намети.

Метод 3D-друку, після вирішення окремих питань при реалізації даної технології, може в подальшому відкрити нові перспективи у будівельній галузі. Такі, як дослідження космосу. Перспективи застосування 3D-друку для будівництва в космосі є безмежними. 3D-друк скорочує час, витрати та ризики для здоров'я і безпеки при використанні в космосі. У зв'язку з цим НАСА запустило «3D Printed Habitat Challenge» для розробки інноваційних можливостей 3D-друку для будівництва будинків в космосі.

Технологію 3D-друку можна використовувати для підвищення стійкості. Будинки можуть бути побудовані на основі життєвого циклу матеріалу, який може використовуватися при оцінці екологічної стійкості будівельних матеріалів. Створення екологічних будівель складної форми, адаптованих до навколишнього середовища, може стати однією з найбільших переваг 3D-друку.

**Висновки.** Хоча 3D-друк в будівельній галузі ще тільки зароджується, потенційні переваги, схоже, просувають технологію вперед. Станом на сьогодні немає повністю надрукованих будівель, 3D-друк міг би використовувати досягнення автоматизації та робототехніки для автоматичного друку повної великої моделі. Будівельним інженерам і менеджерам необхідно оволодіти навичками роботи з програмним забезпеченням, на яких заснований 3D-друк. Навчання спільній роботі з автоматизованими технологіями і технологіями 3D-друку буде все більш і більш важливою вимогою для фахівців в будівельній галузі в подальшому.

Незважаючи на велику кількість проблем, що існують на сьогодні, використання 3D-технологій у будівельній сфері має ряд переваг, основними з яких є: висока швидкість та точність будівництва, простота експлуатації, відносно невисока собівартість будівельних конструкцій та споруд, мінімізація використання ручної праці, підвищення рівня безпеки працівників.

За короткий проміжок часу дана технологія зацікавила велику кількість виробників обладнання і будівельних компаній. Однак, слід зазначити, що перспектива розвитку

3D-друку в будівельній галузі, а також її впровадження в масове виробництво, можливе лише при вирішенні ряду перерахованих вище проблем.

Прогнозується, що світовий ринок будівництва за технологією 3D-друку до 2024 року зросте до понад 1,5 млрд дол., згідно з дослідженням консалтингової компанії Research and Markets [9].

### Список використаних джерел

1. Онлайн словник “Dictionary.com”. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.dictionary.com/browse/3d-printing>
2. Murray D. J., Edwards G., Mainprize J. G., Antonyshyn O. Optimizing craniofacial osteotomies: applications of haptic and rapid prototyping technology. *Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. № 66. 2008. Pp. 66–2.
3. Arayici Y., Coates P., Koskela L., Kagioglou M., Usher C., O'Reilly K. BIM adoption and implementation for architectural practices. *Structural Survey*. № 29. 2011. Pp. 7–25.
4. Медіа-платформа “3Dnatives”. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.3dnatives.com/les-logiciels-dimpression-3d/>.
5. Shou W., Wang J., Wang X., Chong H. Y. A Comparative Review of Building Information Modelling Implementation in Building and Infrastructure Industries. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2014. Pp. 1–18.
6. Bogue R. 3D printing : the dawn of a new era in manufacturing. *Assembly Automation*. № 33. 2013. Pp. 307–311.
7. Chang Y., Shih G. BIM-based Computer-Aided Architectural Design. *Computer-Aided Design and Applications*. № 10. 2013. Pp. 97–109.
8. Seo D., Won H. A Basic Study on Korean-style House Model Manufacturing with 3D Laser Printer Based on BIM (Building Information Modeling). *Advanced Science and Technology Letters*. № 47. 2014. Pp. 21–24.
9. Британське агентство новин “Reuters”. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.reuters.com/article/idUSL8N2KL3UU>