

# ПЕРСПЕКТИВА РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ В БУДІВНИЦТВІ ТА ЙОГО ОСОБЛИВОСТІ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Ця дослідницька робота представляє передові технологічні розробки в житловій архітектурі з використанням 3D-принтерів, досліджуючи позитивні та негативні сторони традиційної архітектури в порівнянні з 3D-друкованим будівництвом. Також розглядаються позитивні та негативні аспекти традиційної архітектури та перехід до екологічної архітектури за прикладом світових лідерів. Акцентовується увага на необхідності зміни методології архітектури та перспективи розвитку будівельних форм в Україні з використанням технології 3D-будівництва.*

**Ключові слова:** адитивні технології, 3D-друк, 3D-принтер, будівництво, інновації

## **Abstract**

*This research paper presents advanced technological developments in residential architecture using 3D printers, exploring the positives and negatives of traditional architecture versus 3D-printed construction. The positive and negative aspects of traditional architecture and the transition to ecological architecture based on the example of world leaders are also considered. Attention is focused on the need to change the methodology of architecture and the prospects for the development of building forms in Ukraine with the use of 3D construction technology.*

**Keywords:** additive technologies, 3D printing, 3D printer, construction, innovation.

## **Вступ**

У сучасному світі технології розвиваються з великою швидкістю щороку. Протягом останніх кількох десятиліть проектування та будівництво екологічних будівель набули популярності. Однією з найновітніших та найбільш перспективних інновацій у галузі будівництва є використання 3-принтерів для друкування будинків [1-3].

Прогноз вчених про розвиток демографічної ситуації в найближчі 20 років вказує на бурхливе зростання населення планети. Це може стати серйозним випробуванням для урядів багатьох країн в забезпеченні підростаючих поколінь комфортними умовами життя, в першу чергу житлом. Так, на основі даних, наведених ООН, через 15 років середньодобова потреба людства в новому житлі перевищить 100 тис. одиниць, і до 2030 року приблизно 4 млрд. осіб з малозабезпечених верств населення (з доходом менше \$ 3 тис. на рік) буде мати гостру потребу в житлі.

На думку експертів, найбільш вірогідним способом вирішення проблеми, що зростає, є використання 3D-технологій, тобто будівельних принтерів. Таке рішення є єдиним способом вирішення проблеми всіх верств населення.

Оптимізм обґрунтований підтвердженнями з різних джерел: у порівнянні з традиційними технологіями використання 3D принтерів при зведенні будинків та споруд дозволить економити на затратах до 80 %, а час будівництва скоротити на 60-70 % [4-6]. Головні переваги будівельних принтерів – мінімальні (в порівнянні з традиційними способами виконання робіт) терміни і ефективність логістичних операцій. Як недоліки: неможливість впровадження 3D технологій в комплексний процес будівництва, реконструкції та ремонту висока вартість сучасних моделей тривимірних будівельних принтерів [7-9].

## **Результати дослідження**

Технологія 3D-друку, що полягає у відтворенні цифрової тривимірної моделі шляхом повторюваних циклів нанесення шарів, формуючи реальний виріб. Такий підхід дозволяє створювати продукт без дорогих інструментів і обрізків матеріалу. Аби отримати надруковану модель вона створюється

за допомогою програм автоматизованого проектування (САПР) або за допомогою 3D-сканера, що дозволяє створити цифрову копію з існуючого об'єкта.

Однією з головних переваг використання адитивних технологій в будівництві є його ефективність та швидкість. Традиційні методи будівництва часто вимагають великих трудових і фінансових вкладень, але завдяки 3D-друку цей процес значно прискорюється. Спеціалізовані 3D-принтери дозволяють виготовляти будівельні елементи, які ідеально відповідають потребам проекту та вимогам [10-12].

3D-друк може у будівельній галузі може застосовуватись за двома напрямками: друк основних елементів кінцевої споруди чи будівлі та друк окремих елементів.

У першому випадку процес друку відбувається на будівельному майданчику. При цьому стикаємось з рядом проблем. Зокрема, розміри самого принтера повинні бути більшими за споруду, що зводиться. Тобто об'єм будівлі повинен поміщатись у об'єм зони друку принтера. Також важливим при цьому є співвідношення швидкості друку і строки тверднення матеріалу, яким друкують, а також ряд інших властивостей матеріалу: абразивність, хімічна стійкість, стійкість до УФ-променів та факторів навколишнього середовища тощо.

У другому випадку розміри принтера можуть бути меншими. При стабільних фізико-механічних властивостях матеріалу, яким здійснюється друк, може бути забезпечена точність розмірів друкованих деталей. А це дозволить розбивати деталі споруди на дрібні елементи з подальшим збиранням [13-15].

У будівельному масштабі основними методами 3D-друку є екструзія (бетон/цемент, віск, піна, полімери), порошкове з'єднання (полімерне з'єднання, реактивне з'єднання, спікання) та адитивне зварювання. В основі роботи будівельного принтера – екструдер, який подає особливу швидкотужавіючу бетонну суміш з різними добавками. За рахунок того, що шари чітко наносяться один на одного, легко можна зводити не тільки стіни, але і різноманітні конструкції. Шари скріплюються між собою, ущільнюються, що дозволяє витримувати не тільки власну вагу, але й зовнішні навантаження. При необхідності можна використовувати горизонтальне або вертикальне армування. Горизонтальне зміцнення встановлюється поступово між шарами. Вертикальне армування монтується після остаточного затвердіння суміші у спеціальних технологічних отворах, а потім заливається будівельними розчинами чи бетоном [14].



Рисунок 1 – Будівельні принтери

За методами зведення будівель розрізняють принтери, які друкують будівлю повністю (рис. 2, а, б), і такі, що друкують окремі конструктивні елементи (рис. 2, в). Дане обладнання дозволяє створювати архітектурні форми та елементи конструкцій для їх подальшого складання на місці, або дозволяє друкувати будівлю в цілому на будівельному майданчику. Висота та розміри будівлі для друку залежать від технічних характеристик принтера, що використовується.

Різні принтери для 3D-друку будівель працюють з різними будівельними матеріалами та на різному програмному забезпеченні. Однак, принцип роботи у них дуже схожий: екструдер видавлює швидкотвердіючу речовину, як правило, це бетонна суміш з різними добавками. Кожен наступний шар наноситься на попередній, завдяки чому утворюється вертикальна структура.

Накладені один на один шари ущільнюються, тим самим збільшуючи здатність витримувати наступні шари бетонної суміші, а отже, і всю вагу конструкції. Для зміцнення конструкції виконується її армування, яке може бути як вертикальним, так і горизонтальним. Горизонтальний арматурний пояс прокладається між шарами, вертикальний арматурний монтаж встановлюється в кінці затвердіння складу, а потім заливається бетоном [15-17].

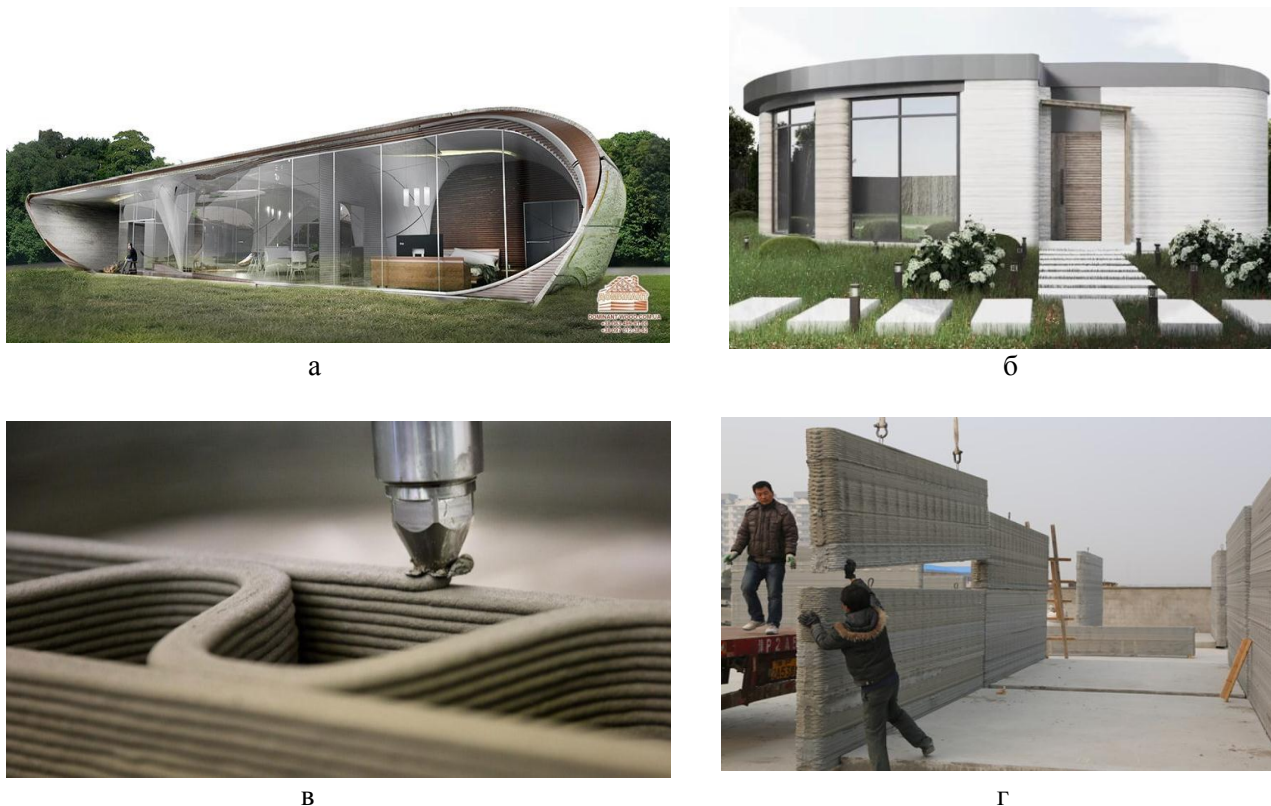


Рисунок 2 – 3D- друк будівельних об'єктів: а - б – зведення будівель; в – друкування конструкцій; г – монтаж друківаних будівельних конструкцій

Таблиця 1 – SWOT-аналіз використання 3D-принтеру

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Просте керування будівництвом об'єкту;</li> <li>2. залучення меншої кількості працівників;</li> <li>3. Відносно низька вартість зведення житла;</li> <li>4. Висока швидкість зведення;</li> <li>5. Довговічність надрукованої будівлі;</li> <li>6. Будівництво будинків не прив'язане до певних геометричних та архітектурних форм, гнучкість дизайну.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Друк будинків обмеженої площі;</li> <li>2. Постійний контроль оператора;</li> <li>3. Відносно висока вартість принтера;</li> <li>4. Друк при низьких температурах тягне за собою збільшення витрат на будівництво.</li> </ol>
Можливості	Загрози
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Можливість будувати високоповерхові будівлі;</li> <li>2. Можливість друку будинків з екологічних матеріалів;</li> <li>3. Можливість розширення ринку та нові джерела доходу.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конкуренція ринку;</li> <li>2. Питання інтелектуальної власності та регулювання;</li> <li>3. Технічні обмеження та відсутність стандартизації;</li> <li>4. Хакерські атаки, що можуть зупинити будівництво.</li> </ol>

SWOT-аналіз (табл. 1) наочно демонструє всі переваги та недоліки використання 3D-принтеру в будівництві. Перелік переваг вказує на доцільність використання 3D-принтеру будівельними компаніями.

Україна не залишається осторонь від цих інновацій. Вже розпочався перший проєкт будівництва за допомогою 3D-друку в місті Львові. Навчальний заклад, корпус для першокласників школи № 23, що вже споруджений за допомогою цієї технології всього за 48 годин. Стіни, надруковані за допомогою 3D-принтера, не є несучими. У стінах зараз є каркаси під колони, які будуть створюватись за класичним методом. Вся вага, яка буде тиснути зверху (наприклад плита перекриття), буде спиратись

на колони, а не на стіни. Це буде корпус для початкової школи, де функціонуватимуть чотири класи. Загалом тут навчатиметься до 100 дітей. Вартість нового корпусу – 800 тис. доларів.



а



б

Рисунок 3 – Львівська школа №23 надрукована технологією 3D-друку.

### Висновки

Перспективи використання 3D-друку в будівельній галузі також розширюються за рахунок можливостей автоматизації та оптимізації процесів будівництва. Ця технологія дозволяє прискорити та зробити більш ефективними багато етапів будівельного процесу, що сприяє зменшенню часу виконання робіт та зниженню витрат. Крім того, вона відкриває можливості для створення інноваційних та унікальних архітектурних форм, які раніше були складніше втілити у життя за допомогою традиційних методів будівництва. Таким чином, 3D-друк не лише полегшує процес будівництва, але й стимулює творчість та розвиток новаторських підходів у галузі архітектури та будівництва.

3D друк будівель є справжнім проривом у переробці більшої кількості будівельних і відновлювальних робіт. Адже дана технологія забезпечує високу точність, якість та швидкість.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проблеми та перспективи розвитку підприємств будівельної галузі. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://snku.krok.edu.ua/index.php/vcheni-zapiski-universitetu-krok/article/view/302> (Дата звернення 26.01.2023).

2. Гріщенко Д. О. Інноваційні будівельні матеріали [Електронний ресурс] / Д. О. Гріщенко, В. П. Ковальський // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», Вінниця, 22 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/view/18831>.

3. Сучасні механізми розвитку інновацій в будівельній галузі. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://visnykj.wunu.edu.ua/index.php/htneu/article/viewFile/1128/1231> (Дата звернення 26.01.2023).

3. Розвиток та впровадження інноваційних технологій 3d-друку у будівництві. - [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/344822499\\_ROZVITOK\\_TA\\_VPROVAD\\_ZENNA\\_INNOVACIJNIH\\_TENNOLOGIJ\\_3D-DRUKU\\_U\\_BUDIVNICTVI](https://www.researchgate.net/publication/344822499_ROZVITOK_TA_VPROVAD_ZENNA_INNOVACIJNIH_TENNOLOGIJ_3D-DRUKU_U_BUDIVNICTVI) (Дата звернення 26.01.2023).

4. Архітектурне проектування громадських будівель і споруд. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vlp.com.ua/node/10479> (Дата звернення 26.01.2023).

5. Build master class 2020. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/44725/2/bmc-2020\\_%20programm.pdf](https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/44725/2/bmc-2020_%20programm.pdf) (Дата звернення 26.01.2023).

6. Об'ємні моделі Інтернет-видання 3Ddevice. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epochtimes.com.ua/ru/novosti-kompaniy/3d-printery3d-pechat-ot-magazina-3ddevicecomua-123545> (Дата звернення 26.01.2023).



7. Екологічно безпечне будівництво. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zeusceramica.com/news/view/ecodesign> (Дата звернення 26.01.2023).
8. Complex binder based on industrial man-made waste [Text] / M. Lemeshev, O. Bereziuk, D. Cherepakha, V.Kovalskiy // Technical and agricultural sciences in modern realities, problems, prospects and solutions : collective monograph. – Boston : Primedia eLaunch, 2023. – 1.3. – P. 51–59.
9. Горковлюк І. І., Ковальський В. П. БУДИНКИ З ЕКОЛОГІЧНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ //СУЧАСНІ СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ НАУКИ, ОСВІТИ, ТЕХНОЛОГІЙ ТА СУСПІЛЬСТВА. – 2023. – С. 63.
10. Зведення екологічних будівель. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2019/11/25/654086/> (Дата звернення 26.01.2023).
11. Василюк А. В. Будівництво будинків завтрашнього дня вже сьогодні. 3D-друк у будівництві [Електронний ресурс] / А. В. Василюк, В. П. Ковальський // Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасні проблеми містобудування. Перспективи та пріоритети розвитку», Луцьк, 17 листопада 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: [https://037f85c3-7657-4024-b2ee-56df95e03bf0.filesusr.com/ugd/8a91c4\\_686d6be35e5240259540a25c48ad5de2.docx](https://037f85c3-7657-4024-b2ee-56df95e03bf0.filesusr.com/ugd/8a91c4_686d6be35e5240259540a25c48ad5de2.docx).
12. Доцільність впровадження «зеленого будівництва» [Електронний ресурс] / М. С. Шпанюк, Є. П. Джига, В. А. Кравчук, В. П. Ковальський // Матеріали ІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15612>.
13. Kreiger, Eric L.; Kreiger, Megan A.; Case, Michael P. (2019). Development of the construction processes for reinforced additively constructed concrete. Additive Manufacturing 28. pp. 39–49.
14. "Interview with the inventor of the frameless Hangprinter 3D printer building the Tower of Babel". 3D Printing Industry. Retrieved 19 March 2017.
15. Очеретний В. П. Сучасні напрямки архітектури [Текст] / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. О. Постолатій // Матеріали ІІІ міжнародної науково-практичної конференції "Прикладні науково-технічні дослідження", Івано-Франківськ, 3-5 квітня 2019 р. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2019. – С. 150.
16. Bereziuk O. Application of virtual laboratory benches during laboratory work by future construction specialists [Text] / O. Bereziuk, M. Lemeshev, D. Cherepakha // Modern teaching methods in pedagogy and philology : collective monograph. – Boston : Primedia eLaunch, 2023. – 3.2. – P. 243–251.

**Гавронська Інна Геннадіївна** — студентка групи БМ-23мс, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [innagavronska@gmail.com](mailto:innagavronska@gmail.com)

**Ковальський Віктор Павлович** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: [kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com](mailto:kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com)

Науковий керівник: **Ковальський Віктор Павлович** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: [kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com](mailto:kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com)

**Havronska Inna H.** — student of BM-23ms group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [innagavronska@gmail.com](mailto:innagavronska@gmail.com)

**Kovalskiy Viktor P.** — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: [kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com](mailto:kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com)

Supervisor: **Semenchenko Simon S.** — **Kovalskiy Viktor P.** — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: [kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com](mailto:kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com)