

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ В БУДІВНИЦТВІ МАЛОПОВЕРХОВИХ СПОРУД

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто перспективи використання 3D-друку в малоповерховому будівництві, зокрема в умовах післявоєнного відновлення України. Описано основні типи 3D-принтерів, переваги та недоліки технології, а також наведено приклади її реального застосування в Україні. 3D-друк відкриває можливості для швидкого, економично вигідного та екологічного зведення будівель.

Ключові слова: 3D-друк, малоповерхове будівництво, моделювання, сталий розвиток, енергоефективність, адитивні технології.

Abstract

The paper examines the prospects for using 3D printing in low-rise construction, in particular in the context of Ukraine's post-war recovery. The main types of 3D printers, advantages and disadvantages of the technology are described, and examples of its actual application in Ukraine are given. 3D printing opens up opportunities for fast, cost-effective and environmentally friendly construction of buildings.

Keywords: 3D printing, low-rise construction, modeling, sustainable development, energy efficiency, additive technologies.

Вступ

Будівельна галузь перебуває на порозі революції, і 3D-друк стає революційним рішенням. Традиційні методи будівництва залишалися практично незмінними протягом десятиліть, значною мірою покладаючись на ручну працю, важку техніку та трудомісткі процеси.

Результати дослідження

3D друк у будівництві — це процес зведення об'єктів шляхом пошарового накладання будівельного матеріалу (найчастіше спеціального бетону), за цифровою 3D-моделлю.

Основні типи 3D-принтерів

- *Гантричні (портальні) принтери* - Мають жорстку каркасну рамку з напрямними по осях X, Y і Z — подібно до мостового крана. Приклади: COBOD BOD2 (Данія); Winsun (Китай)
- *Роботизовані рукави (arm-based robotic printers)* - Використовують промислові маніпулятори зі спеціальними соплами для подачі суміші. Приклади: CyBe Construction (Нідерланди); WASP Crane WASP (Італія)
- *Мобільні/самохідні принтери* - Принтер встановлено на шасі або рейковій платформі — він рухається будівельним майданчиком. Приклад: Apis Cor (США)

Існує два види будівництва за допомогою 3D-принтерів. У першому випадку принтер розташований на будівельному майданчику і процес зведення відбувається пошаровим нанесенням бетонної суміші відповідно до проекту. А в другому - об'ємні елементи друкуються в заводських умовах і доставляються на майданчик, де монтуються традиційними методами будівництва [1]. Переваги використання адитивних технологій будівництва зведені в табл. 1.

Таблиця 1 — Переваги 3D-друку в будівництві

Напрямок	Перспективи
Скорочення термінів будівництва	Завдяки високій швидкості друкування шарів конструкції 3D-друк дозволяє зводити стіни будівель за лічені години, а повноцінні житлові об'єкти – за кілька днів. Це особливо актуально для вирішення житлових проблем у регіонах, постраждалих від стихійних лих, або для швидкого розгортання житла в кризових ситуаціях
Зниження витрат на будівництво	Зменшення потреби в ручній праці, оптимізація використання матеріалів, зниження втрат, пов'язаних із помилками людського фактора, дозволяють знизити вартість будівництва до 20–30% порівняно з традиційними методами. Друк безперервний, що дозволяє працювати цілодобово, економлячи час та кошти
Гнучкість архітектурних рішень	3D-друк дає змогу реалізовувати складні геометричні форми, органічні контури та індивідуальні дизайнерські рішення без додаткових витрат на спеціалізовані форми або складне опалубне обладнання. Це відкриває нові можливості для сучасної архітектури та підвищує естетичну цінність будівель [7]
Екологічність і сталість	Технологія дозволяє мінімізувати відходи будівництва завдяки точному дозуванню матеріалів. 3D-друк може використовувати екологічно чисті або перероблені матеріали, наприклад, бетон із промислових відходів, перероблений пластик, біополімери. Також конструкції можна оптимізувати під енергоефективність (наприклад, товщина стін, ізоляційні властивості) [7]
Індивідуалізація та масова кастомізація	Технологія 3D-друку дозволяє будувати житло за індивідуальним проєктом без значного збільшення витрат. Це особливо важливо для замовників, які хочуть отримати унікальні будинки з урахуванням особистих потреб, ергономічних та функціональних вимог
Вирішення проблеми доступного житла	Швидкість та відносна дешевизна 3D-будівництва створюють перспективи для реалізації програм соціального житла, особливо в регіонах із дефіцитом житлових площ або після катастрофічних подій (наприклад, землетрусів, повеней). Це може стати ключовим фактором у забезпеченні житлом малозабезпечених верств населення
Зменшення трудових ризиків	Автоматизація процесу будівництва зменшує потребу у великій кількості робітників на будівельному майданчику, що знижує ризики травм, пов'язаних із висотними роботами, роботою з важкою технікою та іншими небезпечними процесами. Також 3D-друк мінімізує людський фактор, зменшуючи помилки та покращуючи якість конструкцій.
Можливість друку локальних матеріалів	Використання місцевої сировини, наприклад, ґрунту або піску, як основи для друку, дозволяє зменшити логістичні витрати та сприяти розвитку місцевих економік, особливо в сільських або віддалених районах

Разом з цим існують обмеження використання технології 3D-друку в будівництві, серед яких можна виділити наступні:

- Обмежений вибір матеріалів. Поточні 3D-принтери здебільшого працюють з бетонними сумішами, які потребують спеціального складу для забезпечення текучості та швидкого затвердіння [7].
- Масштабування та складні форми. Більшість сучасних 3D-принтерів здатні зводити лише одно- або двоповерхові будівлі площею до 200 м².
- Висока початкова вартість. Індустріальні 3D-принтери коштують від сотень тисяч до мільйонів доларів.
- Залежність від погоди. Друк на відкритому повітрі чутливий до температури, вологості та вітру. Це може призвести до дефектів у шарах або затримок у будівництві
- Обмеження у деталізації дизайну. Складно реалізовувати тонкі, дрібні або складні архітектурні елементи.

Більше того, хоча конкуренти в традиційному будівництві віддають перевагу усталеним методам з перевіреними результатами, нова технологія стикається зі скептицизмом щодо своєї надійності з часом. Взаємодія між цими багатогранними викликами сприяє невизначеності щодо доцільності широкого інтегрування 3D-друку в майбутні будівельні проєкти. Зрештою, вирішення цих проблем є важливим для реалізації повного потенціалу передових технологій у створенні інноваційних та стійких рішень для житла [2].

Реальне застосування 3D-друку в будівництві. Перший в Україні будинок, надрукований на 3D-принтері, збудовано поблизу Ірпеня. [6] Його звели за підтримки Групи Метінвест для родини загиблого воїна. Будинок площею 130 квадратних метрів був надрукований за 58 годин за допомогою першого в Україні будівельного 3D-принтера компанії 3D UTU. Для будівництва знадобилося 72 тонни спеціальної швидкотвердіючої цементно-піщаної суміші. Метінвест, у свою чергу, безкоштовно поставив понад 20 тон сталевих продукцій зі складів збутової компанії «Метінвест СМК». Ця сталь стала основою для фундаменту, стін та стелі будівлі.

«Тому, коли ми отримали запит на надання металу для будівництва будинку, надрукованого на 3D-принтері, для родини загиблого воїна, ми не довго вагалися та поставили всю продукцію безкоштовно. Для нас це лише тестовий проект будівництва майбутнього, у нових форматах, які, я впевнений, будуть поширені по всій Україні разом зі сталевими конструкціями. Ми готові постачати сталь для відновлення України в тих обсягах, які потрібні нашій країні», – Олег Давиденко, директор департаменту корпоративних комунікацій Метінвесту [6].

За словами мера Ірпеня, у місті пошкоджено або зруйновано тисячі приватних будинків [6]. Сьогодні місто є лідером з відбудови в Україні. Він вважає, що будинок, надрукований на 3D-принтері, є яскравим прикладом того, як технології можуть допомогти відродити громади, спустошені війною. Планування будинку враховує всі нормативні вимоги до житла, а також сучасні уявлення про комфорт. У будинку є простора вітальня, три спальні, кухня-студія та побутові приміщення. Будинок обладнаний необхідними комунікаціями та повністю готовий для проживання сім'ї.



Рис.1 будівництво школи № 23 у Львові за 3D-технологією [3]

«За звичайних умов 3D-принтер може надрукувати школу за тиждень. За три тижні він здатен вигнати стіни триповерхової будівлі. Тож порівнювати темпи традиційних методів будівництва із технологією друку просто некоректно», - Жан-Крістоф Боні, засновник гуманітарного фонду Team4UA [4].

Використовуючи такі технології як 3D-друк, досягається висока якість та точність при виготовленні будівельних елементів. Це забезпечує стійкість та надійність будівель, підвищується рівень енергоефективності та оптимального використання ресурсів. Створюються більш ефективні системи утеплення, вентиляції та освітлення, що сприяє збереженню енергії та зниженню екологічного впливу будівлі на навколишнє середовище [3].

Перспективи розвитку 3D-будівництва в Україні. Майбутні перспективи та інновації в будівництві за допомогою 3D-друку готові змінити ландшафт проектування та розробки будівель[2]. В Україні ця технологія має великий потенціал, особливо у відновленні зруйнованої інфраструктури після війни. Вона дає змогу швидко й економно будувати житло, школи чи амбулаторії, зменшуючи ви-

трати праці та матеріалів. Завдяки активному розвитку ІТ-сфери, інженерного потенціалу та міжнародній підтримці, Україна має всі шанси стати лідером у сфері 3D-будівництва в Східній Європі. Успішна інтеграція технології можлива за умови державної підтримки, підготовки фахівців і законодавчого врегулювання.

Висновки

У роботі проаналізовано перспективи впровадження технології 3D-друку в малоповерховому будівництві в контексті післявоєнного відновлення України. Встановлено, що ця інновація забезпечує високу швидкість, економічність, екологічність і гнучкість архітектурних рішень. Незважаючи на низку технічних та організаційних обмежень, 3D-друк демонструє значний потенціал для вирішення проблеми дефіциту житла та модернізації будівельної галузі. За умови належного нормативного супроводу та державної підтримки, Україна має можливість стати лідером у галузі 3D-будівництва в регіоні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурлака С.А. 3D-друк в будівництві переваги та недоліки. Сучасні технології в будівництві, економіці та дизайні : матеріали всеукр. наук.-практ. конф., м. Немирів. 4-5 квітня 2019р. С. 11–12. URL : <https://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/20997.pdf>.
2. Джордж Петропулос. Будівлі, надруковані на 3D-принтері, трансформують ефективність будівництва та сталий розвиток у сучасній архітектурі. Вебсайт Inorign. URL: https://www.inorign.eu/3d-printed-buildings/?utm_source.
3. Використання 3D-друку в будівництві: можливості та перспективи. Вебсайт Інтернет-видання Полтавщина. URL: <https://blog.poltava.to/atlant/16536/>.
4. Катерина Кисельова . Будувати нове новими технологіями: як школу у Львові надрукував 3D-принтер // Вебсайт Медіа Освіторія. URL: <https://osvitoria.media/opinions/buduvaty-nove-novymy-tehnologiyamy-yak-shkolu-u-lvovi-nadrुकuvav-3d-prynter/>.
5. 3D-друк іноватійна технологія сучасного будівництва. Вебсайт 3D Буд. URL: https://3d-bud.com.ua/?utm_source.
6. Метінвест допоміг побудувати перший в Україні будинок, надрукований на 3D-принтері. Вебсайт GMK Center. URL: https://gmk.center/en/news/metinvest-helped-build-ukraines-first-3d-printed-house/?utm_source.
7. Шилоткач М., Григорчук О. 3D-друк у будівництві: нова ера архітектури : матеріали всеукр. наук.-практ. конф., м. Харків, ВСП «ХФКХП ДБТУ», 2025 С. 705–708.

Повзун Анастасія Євгенівна — студентка групи 1Б-236, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: povzunnanya@gmail.com

Сидоренко Владислава Федорівна — студентка групи АДВ-236, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: sydorenko.vladyslavaa@gmail.com

Горюн Олег Олегович — д-р філософії, асистент кафедри інженерних систем в будівництві, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua

Povzun Anastasiia Y. — student of group 1B-23b, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: povzunnanya@gmail.com

Sydorenko Vladyslava F. — student of group ADV-23b, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sydorenko.vladyslavaa@gmail.com

Horiun Oleh O. — PhD, assistant department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua.