

УДК 62-9

Пухальська Г.В.¹, Пазюк С.В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-112 НУ «Запорізька політехніка»

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АРХІТЕКТУРІ ТА МІСТОБУДУВАННІ

У сучасному світі будівельна галузь переживає масштабну трансформацію завдяки впровадженню інноваційних методів виробництва, серед яких одним із найперспективніших є використання адитивних технологій, більш відомих як 3D-друк. Якщо раніше ці технології використовувалися переважно для створення невеликих макетів та прототипів, то сьогодні вони дозволяють зводити повноцінні житлові будинки, мости та елементи міської інфраструктури. В архітектурі адитивне виробництво базується на пошаровому екструдюванні будівельних сумішей - найчастіше спеціального бетону, геополімерів або переробленого пластику. Спеціальні великогабаритні 3D-принтери, такі як порталні системи або роботизовані маніпулятори, здатні «друкувати» стіни та несучі конструкції будинку безпосередньо на будівельному майданчику всього за кілька днів. Відомі компанії, такі як ICON або Apis Cor, вже успішно реалізували проекти друкованих будинків у США, Європі та на Близькому Сході. Важливою перевагою є те, що традиційне будівництво обмежує архітекторів прямими кутами та стандартними формами через складність створення опалубки, тоді як 3D-друк знімає ці обмеження, дозволяючи зводити будівлі з

криволінійними, біонічними та аеродинамічними фасадами без додаткових витрат.

У сфері містобудування, яка вимагає швидких, екологічних та стандартизованих рішень, 3D-друк також відкриває нові можливості. Зокрема, міські меблі та малі архітектурні форми, такі як лавки, зупинки громадського транспорту, урни та вуличні ліхтарі, все частіше друкують із переробленого пластику або бетону, що дозволяє швидко та економічно оновлювати міське середовище. Крім того, технологія активно застосовується для створення інфраструктурних об'єктів. Яскравими прикладами є перший у світі надрукований на 3D-принтері сталевий пішохідний міст від компанії MX3D в Амстердамі та бетонні велосипедні мости в Нідерландах. Урбаністичне планування також виграє від адитивних технологій, оскільки вони дозволяють швидко створювати точні 3D-макети цілих районів для візуалізації проєктів забудови, оцінки інсоляції, вітрових навантажень та логістики перед початком реального будівництва.

Впровадження цієї технології має низку беззаперечних переваг. Передусім, це екологічність та безвідходність: адитивні технології використовують рівно стільки матеріалу, скільки потрібно для об'єкта, що зводить кількість будівельного сміття майже до нуля. Також вражає швидкість процесу, адже зведення стін базового житлового будинку площею 50-100 квадратних метрів може займати від 24 до 48 годин чистого часу роботи принтера. Окрім цього, процес є максимально автоматизованим, що суттєво знижує потребу у великій кількості робітників на майданчику та підвищує загальну безпеку праці.

На сьогодні 3D-друк стає на 20–30% дешевшим за традиційне будівництво лише при зведенні об'єктів зі складною геометрією. Для типових "коробок" ціна поки що приблизно однакова через високу вартість амортизації принтерів та спеціальних сумішей. Найбільш рентабельним зараз вважається гібридний підхід: фундамент та перекриття роблять традиційним способом; вертикальні стіни зі складними внутрішніми каналами для ізоляції та інженерії друкуються. У масштабах містобудування це дозволяє реалізувати концепцію "Just-in-Time Construction" - коли елементи міської інфраструктури (містки, дренажні системи, зупинки) друкуються за потреби безпосередньо в районі забудови, що мінімізує транспортне навантаження на місто та вуглецевий слід.

Незважаючи на стрімкий розвиток та очевидні переваги, масове впровадження 3D-друку в будівництві стикається з низкою викликів. Головною перешкодою є відсутність єдиної нормативно-правової бази та державних будівельних норм для сертифікації та введення в експлуатацію надрукованих будівель. Також існують певні технологічні обмеження: процеси армування стін і прокладання комунікацій здебільшого все ще

потребують ручної праці, а висотне будівництво за допомогою 3D-друку поки що перебуває лише на стадії експериментів. Проте, незважаючи на ці труднощі, адитивні технології в архітектурі та містобудуванні - це не просто тимчасовий тренд, а реальний інструмент для вирішення глобальних проблем, від забезпечення доступним житлом до створення екологічної міської інфраструктури. З розвитком нових матеріалів та вдосконаленням законодавства у найближче десятиліття 3D-друк має всі шанси стати однією з базових та невід'ємних технологій у світовому будівництві.