

**АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ**

**Гавришук Г.В.**, студ. гр. ВБК-174т

*Науковий керівник – Бачинський В.В., к.т.н., с.н.с. (кафедра ПАТБМ,  
Одеська державна академія будівництва та архітектури)*

**Анотація.** Актуальність поширення використання інноваційних розробок у будівельному виробництві зумовлена об'єктивними факторами розвитку світової економіки. За даними ООН, протягом наступних 10 років приблизно 4 млрд чоловік із малозабезпечених верств населення (з доходом менше \$ 3 тис. на рік) будуть мати гостру потребу в житлі. Особливості, що склалися на ринку будівельних послуг в Україні, також вимагають глибокого вивчення питання можливості забезпечення населення комфортним, порівняно недорогим сучасним житлом. На наш погляд, для вирішення цієї наростаючої проблеми необхідно поширити застосування інноваційних технологій в будівельній галузі, таких як 3D-технологій (будівельних принтерів), також відомих як «адитивне виробництво для будівництва», які розглянуті у даній статті.

Адитивні технології – одна з форм технологій виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі. Друк здійснюється спеціальним пристроєм – 3D-принтером (рис. 1), який забезпечує створення фізичного об'єкта шляхом послідовного накладання пластичного матеріалу на основі віртуальної 3D-моделі. 3D-принтери, як правило, швидші, більш доступні і простіші у використанні, ніж інші технології адитивного виробництва. 3D-принтери пропонують розробникам продуктів можливість друку деталей і механізмів з декількох матеріалів та з різними механічними і фізичними властивостями за один процес складання.

3D друк часто називають «магічною» технологією, оскільки він дозволяє перетворювати, отримані в САД-системах моделі в готові вироби. З 2003 року спостерігається значне зростання у продажі 3D-принтерів. Крім того, вартість 3D-принтерів постійно зменшується. Технологія також знаходить застосування в сфері виробництва ювелірних виробів, взуття, промислового дизайну, архітектури, проектування та будівництва в атомній, автомобільній, аерокосмічній, стоматологічній та інших галузях.

На середину 2010-х років стала доступною велика кількість

конкуруючих технологій, що дозволяють зробити 3D-модель. Їхні основні відмінності стосуються етапу побудови шарів при створенні деталі. Деякі технології використовують плавлення або розм'якшення матеріалу для виробництва шарів (SLS, FDM), інші – використовують рідкі матеріали, які твердіють за різними принципами.



Рис. 1. Сучасний будівельний 3D принтер

На наш погляд, можливо визначити основні напрямки розвитку 3D-друку для будівництва.

Екструзійний друк (Extrusion Based Technologies) – бетон, цемент, віск, піна, полімери.

Струменевий друк (струминне нанесення в'язучого в порошковому шарі, Binder Jetting) – полімерна сполука, хімічна сполука, спікання.

Електродугове вирощування з використанням зварювального дроту (WAAM).

Технології, які включають сітчасте формування каркаса, формування вертикальних конструкцій ковзанням, часткове бетонування металевої сітки тощо.

Окремо можна виділити ринок 3D-друку модулів та цегли (Modularity and Bricks).

В основному будівельні 3D-принтери у своїй роботі використовують технологію екструзіювання, коли кожен новий шар будівельного матеріалу видавлюється з принтера поверх попереднього шару по закладеному програмою контуру. Така технологія називається FDM (Fused Deposition Modeling – моделювання методом осадження нитки).

За схемою роботи можна розрізнити 3D-принтери з полярною схемою роботи (3D-принтери, що обертаються); дельта-принтери; принтери, засновані на роботах-маніпуляторах.

Для створення 3D-моделі в будівництві найбільш частіше використовують програми Autodesk Revit; Compas 3d – більш старий програмний комплекс, який найчастіше використовується інженерами-механіками; простіший Sketch Up, а також програмні комплекси FreeCAD, Blender, Open SCAD та Rhinoceros.

Після того як 3D-модель виготовлена, приступають до розбивки на прошарки – створення G-code<sup>1</sup>, тобто роблять переклад моделі в зрозумілий для 3D принтера вигляд. Для цього використовують програмні комплекси CURA, Craft Ware, Slic3r, 3D slash. Далі інформація передається з комп'ютера в 3D-принтер.

Для управління безпосередньо самим принтером використовують технології CURA, POLYGON, Repetier-Host.

У ході дослідження ми визначили переваги 3D друку перед іншими методами будівництва, а саме:

- виготовлення конструкцій 3D-принтером відкриває більші можливості для підприємств будівельної та схожих сфер;
- знімає обмеження з уяви дизайнерів та архітекторів, бо дає можливості, не доступні при будівництві звичними нам методами;
- висока швидкість зведення будівель та інших споруд;
- повна автоматизація процесу;
- низькі енерговитрати обладнання;
- значна економія проти класичних методів будівельних робіт внаслідок зниження витрат на оплату праці персоналу та енергоресурси та збільшення термінів будівництва;
- повністю виключається утворення відходів будівельних матеріалів;
- мінімізація людського втручання в процес будівництва не лише дозволяє будувати в недоступних для людей місцях, але й на звичних територіях нівелює людський фактор та зменшує ймовірність помилки.

Однак є і труднощі впровадження 3D-друку, а саме:

- загальна слабкість у розвитку машинобудування та хімічної промисловості, висока вартість імпортованих комплектуючих та комплексних модифікуючих добавок (як наслідок – залежність від коливань валют та висока вартість матеріалів для 3D-друку та обладнання);
- необхідність подальших досліджень, з використанням нанотехнологій для розробки нових матеріалів та сумішей, необхідних для ефективного 3D-друку;
- слабкий інтерес та відсутність підтримки проектів 3D-друку з боку будівельної галузі та держави в цілому;

- складна нормативна та регуляторна база;
- відсутність стимулу до зростання ефективності будівельної галузі через доступність дешевої низькокваліфікованої робочої сили.

Технології 3D-друку розвиваються доволі швидко та використовуються у різних сферах життєдіяльності. За останній час велика увага приділяється саме друку будівель, та надруковані будинки все частіше з'являються в останні роки у різних країнах світу – США, Саудівській Аравії, Мексиці, Франції, ОАЕ та інших.

В 2021 році Компанія SQ4D почала продавати об'єкт нерухомості, виготовлений за допомогою сучасних технологій. Дім в Ріверхенді (рис. 2), штат Нью-Йорк, має житлову площу близько 140 м<sup>2</sup>. Його повністю надрукували на 3D-принтері. Для того, аби надрукувати дім, компанії знадобилося близько 48 годин безперервного друку. Однак зробити будинок за раз було неможливо: вдруковували деталі протягом 8 днів.



Рис. 2. Дім, який повністю надрукований на 3D-принтері.

З метою уявлення масштабів і темпів розвитку наведемо плани провідних компаній:

- у рамках замовлення від уряду Єгипту спорудження 12 міні-фабрик прямо в пустелі з використання місцевого піску для виробництва будівельних матеріалів для зведення відразу 20000 модульних одноповерхових будинків;
- співпраця з урядом Іраку задля відновлення зруйнованих в ході бойових дій будівель та будівництва приблизно 10000 будинків на 3D-принтері, а також колодязів і септиків;
- у Саудівській Аравії місцевим будівельним компаніям планується надати в оренду 100 будівельних 3D-принтерів Win Sun для будівництва 3D-друкованих будівель загальною площею 30 млн.м<sup>2</sup> для друку доступного житла для відносно бідних верств населення;
- будівництво по всьому Китаю приблизно 100 фабрик, на яких будівельне сміття буде перероблятися в бетонні «чорнила» для 3D-принтерів.

**Висновки.** Адитивне виробництво для будівництва з використанням 3D-друку дозволяє об'єднати новітні наукові розробки в галузях техніки, технології, матеріалознавства, архітектури, дизайну, конструювання та будівництва. Таке інтегрування в нову єдину інноваційну систему відкрило цілий пласт питань та проблем, пов'язаних із необхідністю вдосконалення методів планування, організації та управління будівельним виробництвом, які б дозволили ефективно використовувати новітні адитивні технології 3D-друку в Україні.

### Література:

1. Интернет-портал и аналитическое агентство: Аддитивное производство (Additive Manufacturing). URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/>
2. Журнал Control Engineering URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/robototekhnika/robotizirovannoe-additivnoe-proizvodstvo/>
3. Военно-патриотический сайт «Отвага». Ерёмин Г. В., Гаврилов А. Д., Назарчук И. И. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО. URL: <http://otvaga2004.ru>.
4. 3D printing community: Maker Bot's Thingiverse. URL: <https://www.thingiverse.com/>
5. Учебный центр ведущих мировых производителей 3D-принтеров. URL: <https://blog.iqb.ru/additive-technologies-in-production/>