

ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДИ

6. Технологія будівельного виробництва: підручник / В. К. Черненко, М. Г. Ярмоленко, Г. М. Батура та ін.; За ред. В. К. Черненка, М. Г. Єрмоленка. – К.: Вища шк., 2002. – 430 с.

7. Трагічний вибух у Євпаторії // Надзвичайна ситуація. – 2009. – № 1. – С. 8–15.

8. Шатов С. В. Організаційно-технологічні рішення розбирання пошкоджених та реконструйованих споруд та будівель / С. В. Шатов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2013. – № 4. – С. 12–17.

Сергій ШАТОВ

*доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри будівельних і дорожніх машин,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
<https://orcid.org/0000-0002-1697-2547>*

Єгор ПАЛІЙ

*аспірант кафедри технології будівельного виробництва
Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури,
<https://orcid.org/0000-0001-8525-7240>*

**3D-ДРУКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЯК
МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ НАПРЯМОК БУДІВЕЛЬНОЇ
ОСВІТИ**

Анотація. Підвищити якість будівництва та зменшити його вартість можливо використанням та розвитком інноваційних технологій, до яких належить 3D-друкування (3D-принтинг) – це процес відтворення реального об'єкту за зразком 3D-моделі. Ця технологія дозволяє протягом декількох діб звести будівельний об'єкт, значно скоротити ручну працю на підготовчих роботах, створити вироби та конструкції складної форми за індивідуальними проектами. Технологія 3D-друкування потребує міждисциплінарного навчання, яке охоплює питання архітектурного проектування, сучасних будівельних матеріалів, конструктивного виконання 3D-

Розділ 3
**ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-
БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДИ**

принтерів, технології зведення об'єктів та їх елементів, розробки програмного забезпечення, розробки нормативної бази на об'єкти, надруковані 3D-методом. Стаття дає можливість отримати знання із загальних питань 3D-друкування, технології виробництва та обладнання.

Ключові слова: *інноваційні технології, 3D-друкування, 3D-принтер, міждисциплінарне навчання.*

Сучасні вимоги у будівництві розвивають інноваційні технології, до яких належить 3D-друкування (3D-принтинг) – це процес відтворення реального об'єкту за зразком 3D-моделі. На відміну від звичайного принтера, який передає інформацію на аркуш паперу, 3D-принтер дозволяє виводити тривимірне зображення, тобто створювати певні фізичні об'єкти. 3D-друкування може здійснюватися різними способами і з використанням різних матеріалів. В основі технології 3D-друкування лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердої моделі [2, 5, 6, 7, 9].

Ця технологія потребує міждисциплінарного навчання, яке охоплює питання архітектурного проектування, сучасних будівельних матеріалів, конструктивного виконання 3D-принтерів, технології зведення об'єктів та їх елементів, розробки програмного забезпечення, розробки нормативної бази на об'єкти, надруковані 3D-методом.

3D-друк будівельних об'єктів є новою технологією зведення будівель і споруд, що дозволяє в найкоротші терміни спорудити житло за індивідуальним проектом із використанням різних матеріалів. Будівельний 3D-принтер застосовує технологію екструдкування, при якій кожен новий шар будівельного матеріалу видавлюється з принтера поверх попереднього [10].

Будівельні принтери поділяють на дві групи: принтери, які друкують будівлю повністю (рис. 1, а–г), і принтери, які друкують окремі конструктивні елементи (рис. 1, д). В якості таких конструкцій можуть виступати макети будівель з реальних будівельних матеріалів, елементи ландшафтного дизайну.

Розділ 3
ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДИ

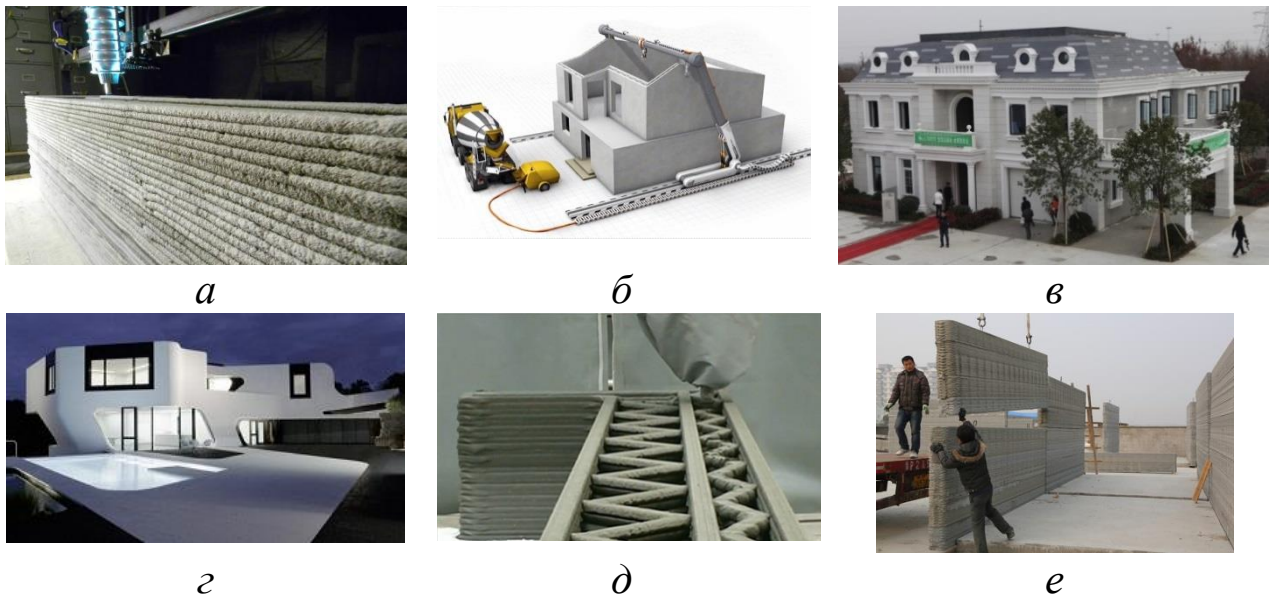


Рис 1. 3D-друк будівельних об'єктів:

а–г – зведення будівель; д – друкування конструкцій; е – монтаж друкованих будівельних конструкцій.

Застосування принтерів для друку окремих елементів конструкцій в умовах виробництва дозволяє виключити сезонність будівництва, тобто друкувати частини будівель, витримувати їх у складських приміщеннях до набору міцності бетону і після цього збирати їх у будівлю на будівельному майданчику (рис. 1, е).

Перед початком роботи готують будівельну суміш відповідно до вимог даного обладнання. Крім місця для установки самого 3D-принтера, потрібно передбачити ділянку підготовки суміші та її подачі до друкувальної голівки принтера, ділянку попередньої сушки, складські приміщення і ділянку навантаження. Для установки технологічного устаткування територія або приміщення повинні бути обладнані місцями його підключення до інженерних комунікацій (електромережі, водопостачання).

У процесі створення готових об'єктів задіяні мінімально дві людини: оператор (безпосередньо управляє принтером) і робітник (готує суміш, армує вироби у процесі друку, готує обладнання до використання на початку і в кінці зміни). Кількість робітників залежить від розмірів обладнання і складності технологічного процесу, що залежить від конструктивних рішень виготовленого об'єкта.

Принтери для 3D-друку (рис. 2) мають різні габаритні розміри і масу, наприклад, принтер формату 12x12 метрів, призначений для

Розділ 3
**ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-
БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДІ**

друку елементів будівель, предметів ландшафтного дизайну висотою до 3 метрів – це великогабаритна 120-тонна конструкція (рис. 2, а). Для друку окремих елементів у закритих приміщеннях застосовують малоформатні принтери з ємністю накопичувача головки 18 ... 32 літрів, габаритами 4х6 метрів і масою 620 кг (рис. 2, б, г). На даному етапі конструкції принтерів дозволяють створювати малоповерхові будівлі різних конфігурацій із застосуванням різних будівельних сумішей.



а



б



в

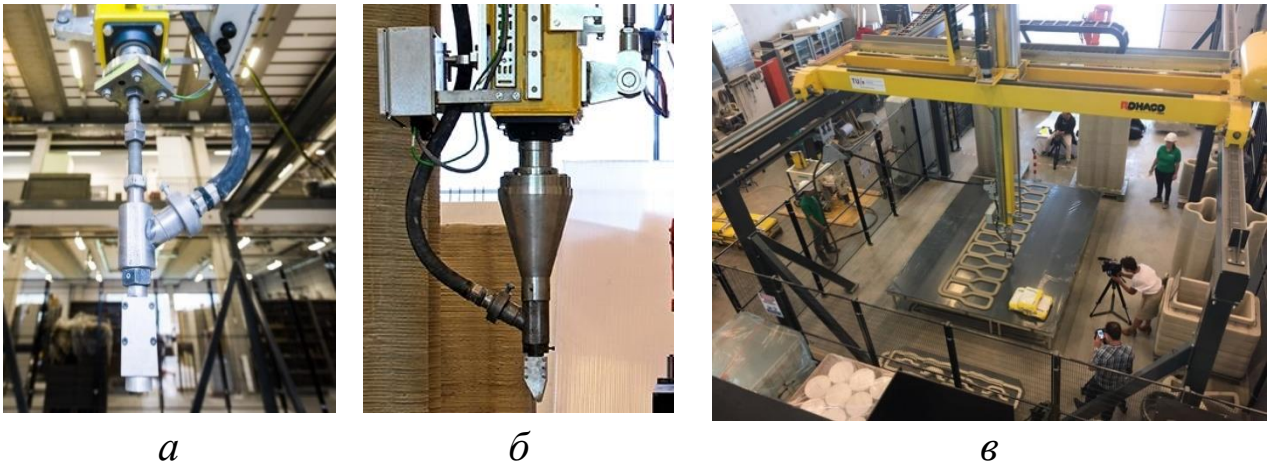


г

Рис. 2. Будівельні принтери:
а – формату 12 x 12 метрів;
б – формату 4,1 x 2,5 метрів;
в – формату 8 x 12 метрів;
г – формату 6,2 x 3,5 метрів.

Останнім часом почали випускати 3D-принтери з нагнітанням суміші до екструдера бетононасосами, що значно підвищило продуктивність друкування виробів (рис. 3).

Розділ 3
ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДІ



*Рис. 3. Будівельні принтери:
а, б – з нагнітанням суміші до екструдера бетононасосами;
в – загальний вигляд виробництва.*

На рисунку 3, в показана організація сучасного виробництва будівельних елементів із подачею суміші від бетононасоса.

Перспективним напрямком розвитку 3D-принтерів є використання їх мобільних конструкцій – на базі транспортних засобів або з ходовою частиною (рис. 4). Це дозволяє самостійно доставляти обладнання безпосередньо до місця зведення об’єкту та знизити транспортні витрати на доставку матеріалів.

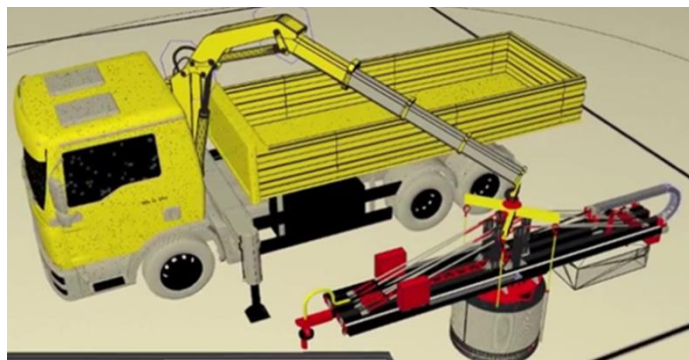
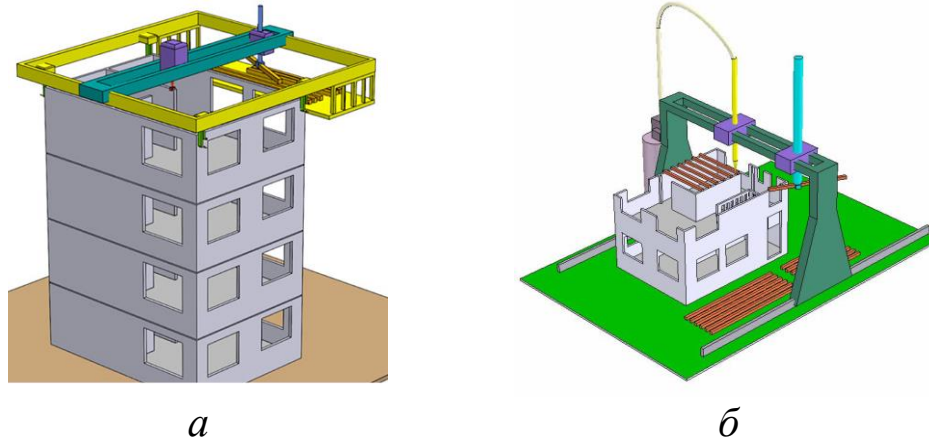


Рис. 4. Будівельний принтер на базі транспортного засобу

Для зведення висотних будівель та споруд планується використання самопідйомних принтерів (рис. 5, а), які піднімаються одночасно з будівництвом споруди. Крім друкування об’єктів, принтерами та додатковим обладнанням виконується встановлення будівельних конструкцій – перемичок та елементів перекриття (рис. 5, б). Таке обладнання оснащують різноманітними робочими

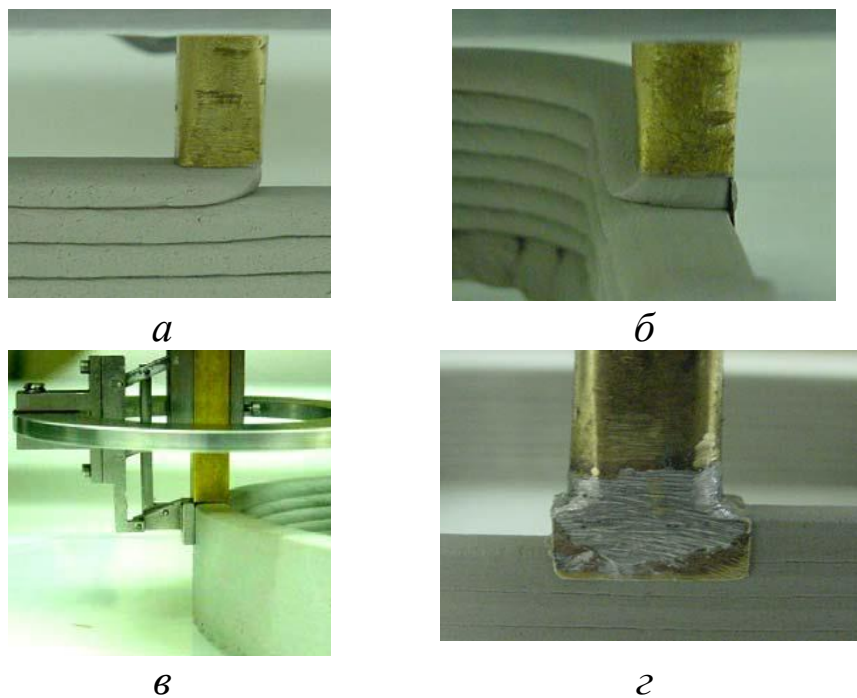
Розділ 3
ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДИ

органами у вигляді маніпуляторів та захватів, які встановлюють на прольотні конструкції, що переміщуються вздовж будівельного об'єкту.



*Рис. 5. Будівельні принтери:
а – самопідйомний; б – у вигляді маніпулятора.*

Технологічний процес друкування полягає [8] у пошаровому укладанні будівельної суміші екструдером принтера (рис. 6). Для оздоблення зовнішньої поверхні об'єкта на екструдері встановлюють додаткову пластину (рис. 6, в, г).



*Рис. 6. Процес друкування об'єкта:
а, б, г – рух екструдера; в – головка принтера.*

Розділ 3
ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДИ

Перед початком будівництва з використанням 3D-друку раціонально змодельовати форму споруди і відпрацювати технологічний процес друкування об'єкта (3D-модельовання). Це здійснюється обладнанням малого формату із застосуванням реальних будівельних сумішей, що дозволяє перевірити прийняті проєктні архітектурно-конструктивні рішення. Реальні будівельні суміші на основі гіпсу використовують для друку моделі будівлі, а цементні суміші створюють вироби, призначені для експлуатації поза приміщенням. На моделях відпрацьовують процес горизонтального і вертикального армування, установки каркасів всередину порожнин стін, прокладку комунікацій. Важливим аспектом є те, що надруковані зразки зручні для проведення лабораторних досліджень за тими чи іншими параметрами.



а



б



в



г

*Рис. 7. Будівельні принтери конструкції ПДАБА:
а, б – загальний вигляд; в – екструдер із двома соплами;
г – вироби.*

Значні напрацювання з технології 3D-друку та розробки обладнання виконані в Придніпровській державній академії будівництва та архітектури [3, 4]. Розроблено склад будівельних сумішей та декілька конструкцій 3D-принтерів, які використовують для виробництва будівельних виробів (рис. 7).

Окрім охарактеризованого вище традиційного використання 3D-друкування в будівництві, не можна не відзначити й інший перспективний напрямок. У наші дні людство впритул наблизилося до вирішення питання освоєння далекого космосу. Наявний науково-технічний потенціал уже зараз дозволяє відправляти розвідувальні місії за межі Сонячної системи. Місяць як найменш віддалений від Землі об'єкт Сонячної системи в найближчому майбутньому стане полігоном для відпрацювання нових космічних технологій, безпосередньо пов'язаних зі створенням на Місяці постійно діючої бази. З огляду на важливість і актуальність цього питання ДП «КБ «Південне» та ДВНЗ ПДАБА спільно із закордонними фахівцями розробили проекти створення промислово-дослідних баз на планетах Сонячної системи [1].

Передбачається, що на початковому етапі розгортання місячної бази всі її елементи будуть доставлятися з Землі. Після того як буде створена місячна база мінімальної конфігурації, яка дозволить забезпечити перебування людини на Місяці, впритул постане питання облаштування виробничих і житлових модулів місячної бази з використанням місцевих ресурсів. Це також пов'язано з високою вартістю доставки корисного вантажу на поверхню Місяця, адже ціна одного кілограма корисного вантажу, що доставляється на поверхню Місяця, сягає не менше 40 тисяч доларів США.

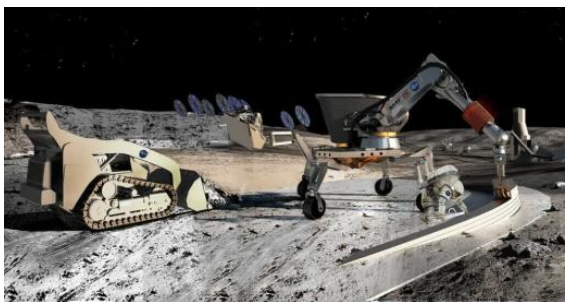
У результаті науково-розвідувальних місій, виконаних на поверхні Місяця, на Землю було доставлено близько трьохсот кілограмів місячного ґрунту і місячних порід. З'ясувалося, що поверхня Місяця покрита шаром реголіту, тому його застосування як конструкційного зовнішнього теплозахисного матеріалу стає особливо актуальним, враховуючи значні перепади температури на поверхні Місяця. Низька теплопровідність дозволяє йому утримувати тепло всередині модулів. За своєю хімічною природою реголіт є алюмосилікатом, але в морських породах Місяця (базальт) більше заліза й магнію, а в материкових (анортозитах) – кальцію та магнію.

Розділ 3
ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДИ

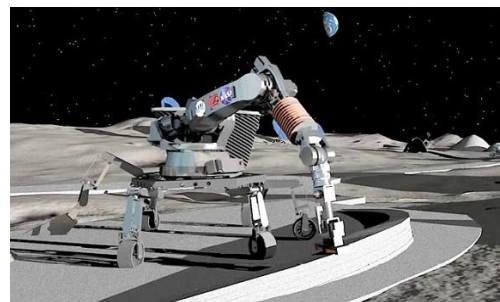
Дані про будову місячного ґрунту і порівняльний аналіз із земними аналогами широко представлені в наукових публікаціях. Шар реголіту може мати товщину від декількох сантиметрів до десятків метрів.

З огляду на схожість місячних і земних гірських порід, розвиток місячної будівельної індустрії може відбуватися із застосуванням технологій, використовуваних на Землі [8]. Проаналізувавши можливості зведення будівельних конструкцій на Місяці на основі морського реголіту (аналога земного базальту), можна виділити найбільш перспективні:

- використання 3D-принтера для створення блоків із місячного ґрунту, наприклад наплавленням місячного ґрунту за допомогою сонячної енергії на нарощувану поверхню;
- кам'яне лиття, в результаті якого отримуємо високотемпературний матеріал на основі реголіту, що відрізняється високою стійкістю до космічної радіації та мікрометеоритів.



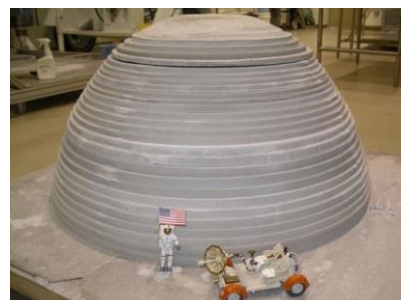
а



б



в



г

Рис. 8. Використання 3D-принтерів для умов Місяця:

а – загальне розташування основного та допоміжного обладнання на виробничому майданчику; б – принтер на спеціальній ходовій частині;

в – принтери різноманітного виконання на колісному ході;

г – макет надрукованої споруди.

Розділ 3
**ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-
БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДИ**

Для цих технологій складовою частиною є 3D-принтери [1], які в умовах Місяця (рис. 8) повинні відповідати ряду вимог:

- бути мобільними та мати власну ходову частину, що дозволяє принтеру переміщуватися під час друкування конструкцій, долати перешкоди рельєфу місцевості та розташовувати його в захисних спорудах при зберіганні;
- забезпечувати друкування споруд у цілому та окремих будівельних конструкцій;
- бути універсальними та адаптуватися до зміни технологічних режимів друкування;
- мати дистанційне керування та автономне джерело живлення.

Перед початком друкування споруд будівельний майданчик підготовлюють до використання принтера: допоміжною технікою (навантажувач, бульдозер) планують поверхню (рис. 8, а); встановлюють обладнання для приготування та подачі реголіту у принтер.

Залежно від виду та обсягу друкування встановлюють необхідну кількість принтерів (рис. 8, в) та зводять об'єкти. У разі друкування окремих будівельних конструкцій (рис. 8, б) отримані вироби використовують для монтажу споруд. Після застосування принтерів їх поміщають у захисні споруди для запобігання зовнішніх впливів (метеоритів).

Таким чином, можна визначити такі переваги 3D-друку:

- можливість створювати об'єкти будь-якої форми і складності;
- швидкість зведення;
- застосування різних матеріалів, у тому числі й екологічно чистих;
- безвідходність виробництва;
- легкість технологічного процесу;
- зменшення людського фактору, а відповідно підвищення якості і точності будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савицький М.В. Наукові основи 3D-друку будівельних об'єктів для проекту «Місячна база» / М.В. Савицький, С.В. Шатов та ін. // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Консорціуми університетів :

ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН У КОНТЕКСТІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОЛОДІ

забезпечення сталого розвитку закладів вищої освіти України та їхньої конкурентоспроможності» / за ред. кол. : О.О. Дробахін (голова) та ін. (18-19 вересня, 2020 року) – Д. : ДНУ, 2020. – С. 277-280.

2. Торшин А.О. / Перспективы использования 3D-принтера в строительстве / А.О. Торшин, Е.Н. Потапова // Успехи в химии и химической технологии – М., 2016. Т. XXX. – № 7. – С. 118-120.

3. Шатов С.В. Обобщение инновационных технологий 3D-печати строительных объектов для разработки стартапов / С.В. Шатов, Н.В. Савицкий, С.А. Карпушин // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Вып. 99. – Д. : ГВУЗ «ПГАСА», 2017. – С. 194-200.

4. Шатов С.В. Удосконалення обладнання 3D-друку об'єктів / С.В. Шатов, М.В. Савицький, І.О. Марченко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБтаА, 2019. – № 6. – С. 90-101.

5. «Contrucktion». MegaScale 3D Printing, Group 1 : Final Report, 11th January 2013 / Alwi A., Karayiannis S., Starkey B., Gardner M., Reodique K., Varley Th. ; Faculty of Engineering and Physical Sciences University of Surrey. – 2013. – 201 p.

6. Khoshnevis B. Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies / [Behrokh Khoshnevis](#) // Automation in Construction. – 2004. – Vol. 13, iss. 1. – P. 5-19.

7. Lipson H. Fabricated. The New World of 3D Printing / Hod Lipson, Melba Kurman. – [Indiana] : Wiley, 2013. – 320 p.

8. Savytskyi N.V., Shatov S.V., Ozhyshchenko O.A. 3D-printing of build objects // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : 2016. – № 3. – С. 18-26.

9. Обзорная статья по 3D-строительным технологиям [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fb.ru/article/257514/stroitelnyiy-d-printer-novaya-tehnologiya-stroitelstva-domov>

10. Технологии 3D-печати в строительстве [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.shapovalov.org/news/2014-05-28-2769>