**УДК 691.116**

# СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА В КОСМІЧНИХ УМОВАХ. ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В 3D-ДРУКУ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ

Автори − **Федін В. А.,** студ., **Безверхий Д. С.,** студ.
Науковий керівник − **Мислицька А. О.,** асист.
*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*

***Постановка проблеми.*** Доставка матеріалів та безпосереднє зведення конструкцій будівель на Місяці на сьогоднішній день обмежується великою ресурсомісткістю та економічною недоцільністю. Окрім доставки самого механізму для зведення будівель, також є проблема доступності ресурсів для реалізації необхідного об’єму будівництва.

***Мета дослідження.*** Будівництво з застосуванням 3D-технологій на даний момент активно поширюється, що сприяє активному розвитку в цьому напрямку. Самі пристрої стають більш компактними, мобільними, легкими та зручними у керуванні та програмуванні. 3D-принтери також застосовують широкий спектр матеріалів для різноманітних цілей. Програми з освоєння космосу, а саме Місяця, з застосуванням та порівнянням різних технологій є у багатьох держзамовленнях, в тому числі і в Україні.

***Результати дослідження***. 3D-друк - багатообіцяюче рішення в рамках передової області майбутніх здобутків в космічному виробництві. Технічно відоме як адитивне виробництво, 3D-друк включає в себе складну групу технологій, які можуть виробляти фізичні продукти практично будь-якої форми і геометричної складності з цифрових моделей. За допомогою цієї технології вже можна робити речі з величезної кількості матеріалів, в тому числі метали, кераміку і пластик, і навіть такі відходи, як пластик, деякі з яких можуть бути використані для виготовлення обладнання космічного рівня.

Звичайно, є і серйозні проблеми. 3D-друк в першу чергу було розроблено для використання на Землі, і для його роботи потрібні певні постійні умови гравітації і температури. Поки що він використовує матеріали значно менш складні, ніж ті, що знаходяться на поверхні Місяця.

Основною перевагою є повне виключення фізичної людської праці з процесу будівництва і її здешевлення за рахунок скорочення логістики з Землі. Використання технології 3D-принтера надасть вченим можливість зменшити кількість використовуваної техніки, спростивши створення конструкцій складних форм. Також перевагою є те, що для своєї роботи 3D-принтер використовує відвали реголіту, які піднімають на поверхню під час будівництва тунелів. Зокрема робота, яка проводиться в середовищі місячного пилу, може завдати шкоди людині через свої абразивні властивості і проникаючу здатність. Бази повинні витримувати відмінні від земних умов навантаження, але при цьому забезпечувати рівень комфорту, схожий із земним. Будівництво будинків, за задумами дослідників, 3D-принтер буде здійснювати, використовуючи в якості основного матеріалу місячний ґрунт.

У дослідників є комплексний підхід до створення матеріалів, що імітують місячний ґрунт для тривимірного друку. Порошок характеризується неоднорідною структурою і розмірами, а також зазубреною формою. Дослідники розробили новий підхід до адитивного виробництва з моделюванням місячного реголіту. Він являє собою нову схему використання ресурсів без попереднього порошкового шару для виготовлення визначених користувачем структур із сильно неоднорідного реголіту. Докази концепції використання місячного реголіту в якості основного будівельного матеріалу були дані за допомогою контурної обробки методом спікання реголіту.

(рис. 1) Технологія створює суміш, подібну бетону, з місячного ґрунту і наземними витратними матеріалами. Так звані «чорнила» мають схожі реологічні властивості і характеристики для 3D-друку та можуть бути надруковані в 3D при лінійної швидкості осадження 1...150 мм/с з використанням сопел діаметром від 300 мкм до 1,4 см. Отримані матеріали для 3D-друку демонструють схожі з реальним реголітом по мікроструктурі і пористості властивості. Ці мікроструктури вносять свій внесок в довгочасні і циклічні механічні властивості матеріалу з модулями Юнга від 1,8 до 13,2 МПа. Однак перші тести продемонстрували недостатню міцність на стиск у величині менше 5 МПа. Це було пов'язано з високою пористістю і слабким зв'язком між шарами. Але були запропоновані шляхи поліпшення технології за рахунок зменшення температурних перепадів і часу охолодження між пошаровими проходками. Отримані в результаті друковані структури можуть бути оброблені для створення твердих реголітових структур шляхом спікання після 3D-друку. Це дослідження продемонструвало нові можливості у використанні тривимірних технологій.

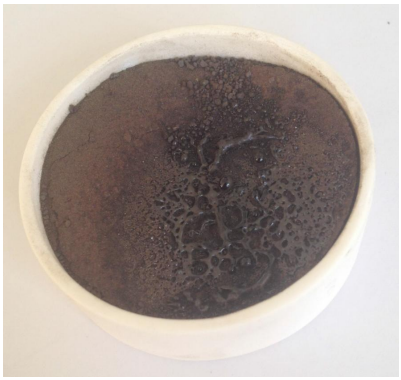

*Рис. Результат спікання реголіту*

***Висновки***. На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що ще необхідно краще зрозуміти матеріал і його взаємодію з процесом 3D-друку, а також розробити нові технологічні рішення для подолання будь-яких обмежень. На цьому етапі нам навіть важко зрозуміти, що саме може піти не так, але наступним хорошим кроком буде тестування 3D-друку з реальним реголітом.

**Список використаних джерел**

1. NASA. Regolith Formation, Lesson Plans. Activities, EG-1997-10-116-HQ, 1997.
2. Khoshnevis Behrokh, Bodiford Melanie P., Burks Kevin H., Ethridge Ed, Tucker Dennis, Kim Won, Toutanji Houssam, Fiske Michael R. Lunar Contour Crafting : A Novel Technique for ISRU-Based Habitat Development. NASA, 2004.
3. Mechanical behaviour of additively manufactured lunar regolith simulant components. [Електронний ресурс]. URL: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1464420718777932
4. Additive manufacturing of physical assets by using ceramic multicomponent extra-terrestrial materials [Електронний ресурс]. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221486041630032X
5. Robust and Elastic Lunar and Martian Structures from 3D-Printed Regolith Inks [Електронний ресурс]. URL: https://www.nature.com/articles/srep44931#conclusions.
6. Solar 3D printing of lunar regolith [Електронний ресурс]. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576518303874