

УДК 66.001.5:693.546

## МОБІЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ 3D-ДРУКУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ НА МІСЯЦІ

Шатов С. В.<sup>1</sup>, докт. техн. наук, доц.; Савицький М. В.<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф.;

Осиновий Г. Г.<sup>2</sup>, канд. техн. наук;

Лиходій О. С.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.; Купнівч Л. В.<sup>1</sup>, здоб.

<sup>1</sup>Державний вищий навчальний заклад

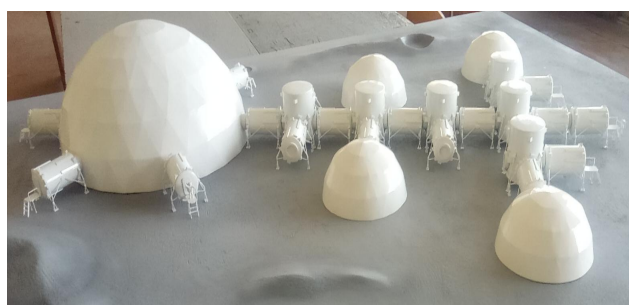
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

<sup>2</sup>Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля»

**Постановка проблеми.** У наші дні людство впритул наблизилося до вирішення питання освоєння далекого космосу. Наявний науково-технічний потенціал зараз вже дозволяє відправляти розвідувальні місії за межі сонячної системи. Місяць як найближчий 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» ім. М. К. Янгеля» та ДВНЗ ПДАБА наряду з закордонними фахівцями також розробили проекти (рис. 1) створення місячної промислово-дослідної бази [1].

**Мета дослідження.** Аналіз існуючих проектів використання технологічного обладнання для зведення місячної бази та розробка пропозицій зі створення мобільних комплексів 3D-друку конструкцій бази на Місяці.

**Виклад основного матеріалу.** 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 створення виробничих і житлових модулів місячної бази (рис. 1) з використанням місцевих ресурсів. Це також пов'язано з високою ціною доставки корисного вантажу на поверхню Місяця, ціна одного кілограма корисного вантажу, що доставляється на поверхню Місяця коштує не менше 40 тисяч доларів США.



а



б

Рис. 1. Проекти промислово-дослідної бази на Місяці:

а – ДП «КБ «Південне»; б – ДВНЗ ПДАБА

У результаті науково-розвідувальних місій виконаних на поверхню Місяця, на Землю було доставлено близько трьохсот кілограм 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 [2]. За своєю хімічною природою реголіт є алюмосилікатом, але в морських породах Місяця (базальт) більше заліза і магнію, а в материкових (анортозитах) – кальцію і магнію. Дані про будову місячного ґрунту і порівняльний аналіз із земними аналогами широко представлені в наукових публікаціях [3; 4]. 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 [5]. Проаналізувавши можливості зведення будівельних конструкцій на Місяці на основі морського реголіту (аналога земного базальту), можна виділити найбільш перспективні:

- використання 3D-принтера для створення блоків з 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 і мікрометеоритів.

Для цих технологій складовою частиною є 3D-принтери [6; 7], які в умовах Місяця (рис. 2) 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 в 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. 2 а); встановлюють обладнання для приготування та подачі реголіту у принтер.



а



б



в



г

Рис. 2. 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

Залежно від виду та обсягу друкування встановлюють необхідну кількість принтерів (рис. 2 в) та зводять об'єкти. У разі друкування окремих будівельних конструкцій (рис. 2 б), отримані вироби використовують для монтажу споруд. Після використання принтерів їх встановлюють в захисні споруди для запобігання від зовнішніх впливів (метеоритів).

У зв'язку з необхідністю переміщення принтерів, зокрема по поверхні Місяця, їх ходова частина повинна забезпечити надійну роботу цих систем з метою стійкого положення обладнання. Аналіз пропозицій та використання на Місяці й Марсі планетоходів показав, що найбільш поширеними їх ходовими частинами є колісні (рис. 3 а–в) та гусеничні рушії (рис. 3 г). У конструкціях планетоходів передбачається виконання ходової частини у вигляді коліс з незалежною їх підвіскою відносно платформи (рис. 3 в, г), що дозволяє пересуватися цим засобам по перешкодам. У конструкціях планетоходів модульного типу ДП «КБ «Південне» (рис. 3 д) передбачається встановлення необхідної кількості рушіїв.

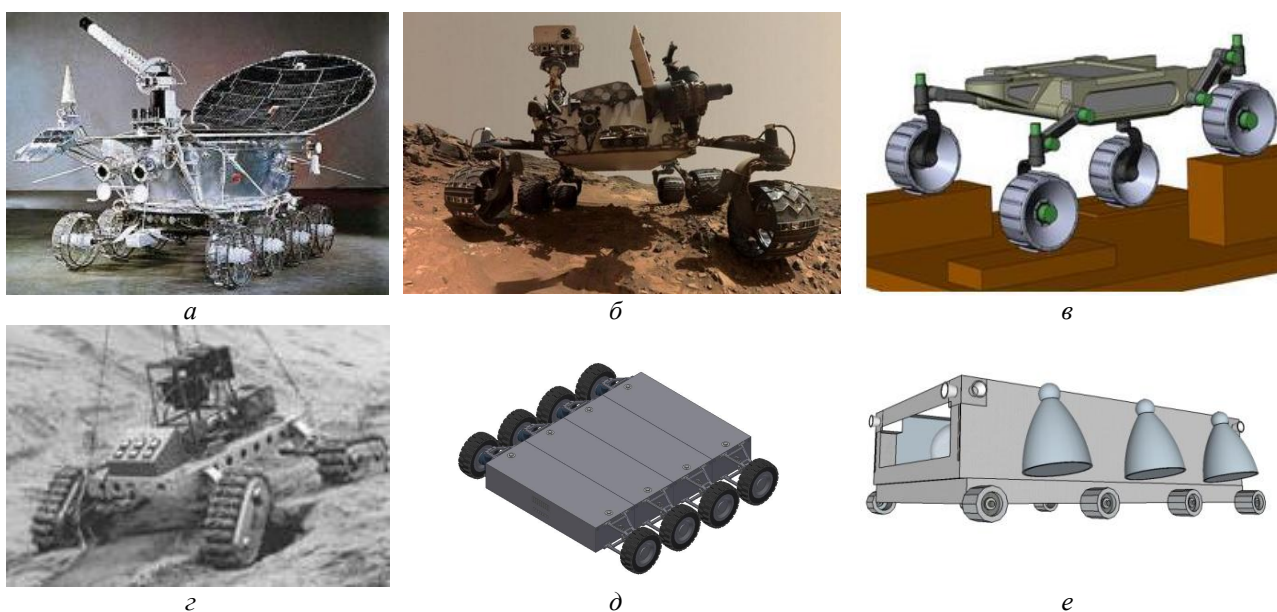


Рис. 3. Варіанти виконання планетоходів:  
а, б, в, – колісного типу; г – гусеничний; д – модульного типу;  
е – колісного типу з додатковими ракетними двигунами

За пропозицією ДВНЗ ПДАБА планетоходи доцільно оснащувати комбінованими рушіями – колісним та ракетним, для подолання перешкод та значних відстаней переміщення (рис. 3, е). На платформах планетоходів планується встановлення 3D-принтерів.

#### **Висновки.**

1. Зведення промислово-дослідної бази на Місяці доцільно за технологією 3D-друку з використанням місячного ґрунту – реголіту.

2. У якості технологічного обладнання, зокрема 3D-принтерів, раціонально використовувати мобільні пристрої з власною ходовою частиною. Запропоновано конструктивне виконання мобільних 3D-принтерів.

#### **Список використаних джерел**

1. Савицький М. В., Шатов С. В. та ін. Наукові основи 3D-друку будівельних об'єктів для проекту «Місячна база». *Консорціуми університетів: забезпечення сталого*

*розвитку закладів вищої освіти України та їхньої конкурентоспроможності* : тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. Під ред. кол. : О. О. Дробахін (голова) та ін. (18-19 вересня, 2020 р.). Дніпро : ДНУ, 2020. С. 277–280. URL: <http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/202/tezu.pdf>.

2. Мохов А. В., Карташов П. М., Богатиков О. А. Луна под микроскопом: новые данные по минералогии Луны : атлас. Москва : Наука, 2007. 127 с.

3. Назаров М. А. Лунные породы. URL: <http://www.meteorites.ru/menu>.

4. Родченко В. В., Садретдинова Э. Р., Заговорчев В. А., Галлеев А. В. Выбор земных грунтов-аналогов как среды для движения лунного реактивного пенетратора. *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. 2017. №№ 28–30. С. 69–81.

5. Багров А. В., Нестерин И. М. и др. Анализ методов строительства конструкций лунных станций. *Вестник ФГУП НПО им. С. А. Лавочкина*. 2017. № 4 (25). 75 с.

17. Гиктаймс. 3D-принтер напечатает лунную базу из реголита. URL: <https://geektimes.ru/post/168109/>

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