

УДК 624.01:728.98(158)

## ОСОБЛИВОСТІ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛИЧНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ МІСЯЧНОЇ БАЗИ

Бордун М. В., Ph. D.; Савицький М. В., докт. техн. наук, проф. ;  
Спирidonенков В. А.; Куліченко Н. В., ст. виклад.

*Державний вищий навчальний заклад*

*«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

**Постановка проблеми.** З середини минулого століття людство активно освоює космічний простір і небесні тіла. Із запуском орбітальної станції МИР в 1986 році, а в 1998 році Міжнародної космічної станції (МКС), присутність людини в космосі є практично постійною. Наступним кроком по освоєнню космічного простору є будівництво бази на Місяці і колонізація Марса. Основне завдання при цьому, забезпечення безпечного середовища для життєдіяльності людини в умовах позаземного простору.

Згідно the NASA Advanced Life Support Baseline Values and Assumptions Document [1] для дворічного перебування на Місяці екіпажу з шести чоловік буде потрібно 57 т витратних матеріалів, в тому числі 2,7 т сублімованих продуктів харчування і 17 т питної води. З огляду на високу вартість доставки вантажів у космос (від 11 500 дол. США за 1 кг вантажу) рішенням для зниження витрат по забезпеченню бази на Місяці продовольством може стати вирощування продовольчих культур безпосередньо на місці з використанням тепличного модуля.

**Мета роботи.** Виконати аналіз світових наукових досліджень щодо особливостей конструкцій тепличних модулів для вирощування рослин в умовах позаземного простору. Сформулювати напрямки подальших досліджень щодо розробки інженерно-технічних рішень тепличного модуля Місячної бази.

**Виклад матеріалу. Результати.** Суворі умови на Місяці висувають певні вимоги до конструкцій теплиць. Конструкція модуля місячної теплиці повинна забезпечувати умови для створення необхідних параметрів мікроклімату для вирощування рослин, а також захищати внутрішній простір від впливу радіації, перепадів температур, ударів мікрометеоритів та інших зовнішніх факторів. Також вона повинна бути інтегрована в основну інфраструктуру місячної бази.

В рамках програми «Альтернатива мікроекологічній системі життєзабезпечення» (MELiSSA) Німецький аерокосмічний центр (DLR) провів дослідження, які направлені на визначення основних вимог для функціонування модулів місячних теплиць. В ході дослідження були визначені основні параметри мікроклімату, необхідного для вирощування рослин, культури рослин, які доцільно вирощувати в місячному тепличному модулі, обсяги зони росту тепличного модуля для цих рослин, а також щомісячна суха маса врожаю. Основними сільськогосподарськими культурами, які запропоновані для вирощування у позаземних умовах, є картопля, соя, пшениця твердих і хлібних сортів, латук, буряк і рис, щомісячна суха маса врожаю яких повинна складати 171 кг [2]. Також в ході виконання дослідження були запропоновані три варіанти конструкцій тепличного модуля: надувна, комбінована (поєднання жорстких складних і надувних конструкцій) і тверда телескопічна конструкція.

Надувна конструкція у формі тора розгорнута навколо центрального вертикального ядра – модуля, розділена на шість частин («пелюстки»), в яких стінки між пелюстками функціонують, як розділові перегородки, дозволяючи працювати пелюсткам незалежно один від одного. Кожен з «пелюсток» являє собою камеру для

вирощування рослин з доступом до жорсткого центрального ядра-модуля, де розташовані робоча зона, зона пророщування рослин і зона короткочасного зберігання (рис. 1 а.).

Комбінована конструкція складається з центрального жорсткого ядра і двох надувних незалежних конструкцій у формі тора. Кожен тор має невелике внутрішнє ядро із роботизованим маніпулятором для автоматичного обслуговування рослин. Верхній центр жорсткого ядра забезпечує можливість розміщення сонячного концентратора або фотоелектричної системи для збору світла та/або вироблення електроенергії незалежно від інфраструктури місячної бази (рис. 1 б).

Жорстка модульна конструкція представлена шестикутними телескопічними компонентами покритими оболонкою з реголіту. За один запуск на Місяць можуть бути доставлені шість компонентів телескопічної камери. Хоча ця концепція вимагає багаторазових запусків, її конструкція дуже проста, для її розгортання використовується механізм вертикального ковзання. Шестикутна форма компонентів забезпечує необмежене зростання тепличної системи, а також дозволяє розміщувати гексагональні сонячні концентратори або фотоелектричні системи (рис. 1 в).

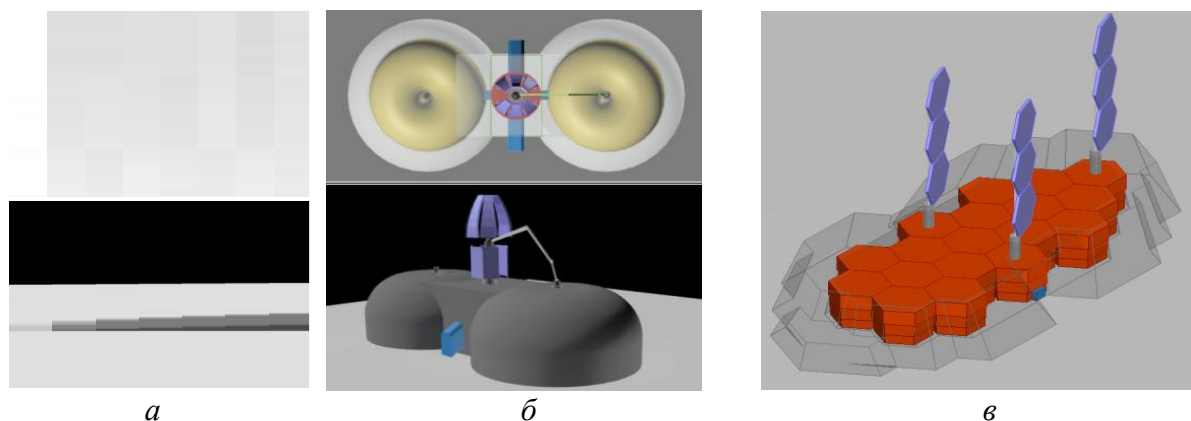


Рис. 1. Варіанти конструкцій тепличного модуля для Місячної бази:  
а) надувна; б) комбінована; в) жорстка телескопічна

Дослідження зі створення тепличного місячного модуля із замкнутим циклом процесів життєзабезпечення проведені командою вчених з університету Арізони. За підтримки програми NASA Ralph Steckler був спроектований і побудований прототип тепличного модуля Mars-Lunar Greenhouse (MLGH), який складається з чотирьох легких циліндричних надувних мембранних конструкцій довжиною 5,5 м і діаметром 2,1 м з гідропонною системою вирощування рослин. Мембранні конструкції з'єднані між собою центральним ядром (рис. 2). Експериментальні дослідження спрямовані на тестування напівзакритої гідропонної системи полікультивації для виробництва продуктів харчування, відновлення повітря, рециркуляції води та утилізації відходів в тепличному модулі для майбутніх планетарних форпостів [3].

Для проведення міждисциплінарних досліджень за темами, які пов'язані з вирощуванням рослин в рамках пілотованих космічних місій дослідницькою групою Німецького аерокосмічного центру та Інститутом космічних систем в Бремені був створений аналог космічної теплиці EDEN ISS недалеко від німецької станції Neumaier III в Антарктиді [4]. Проект EDEN ISS спрямований на тестування підсистем, технологій, робочих процедур, пристроїв, моніторингу здоров'я рослин і вирощування рослин для майбутніх космічних місій. В ході 9-місячної експериментальної кампанії міжнародного проекту аналога космічної теплиці EDEN ISS в Антарктиді вирощувався широкий спектр овочів. Рослини вирощували в закритому контрольованому середовищі

з використанням аеропоніки і світлодіодного освітлення. Протягом 286-денного періоду експлуатації в 2018 році EDEN ISS вироблено 268 кг свіжих продуктів з 12,5 м<sup>2</sup> посівної площі теплиці.



Рис. 2. Прототип тепличного модуля Mars-Lunar Greenhouse (MLGH)



Рис. 3. Аналог космічної теплиці EDEN ISS в Антарктиді

**Висновки.** Результати світових наукових досліджень щодо особливостей конструкцій тепличних модулів для вирощування рослин в умовах позаземного простору засвідчують актуальність проблеми, а її рішення має широкий діапазон розвитку.

#### Список використаних джерел

1. Anthony J. Hanford. Advanced Life Support Baseline Values and Assumptions Document. *Technical Reports of Purdue University*. Paper 3. 2006. P. 158. URL: <https://docs.lib.purdue.edu/nasatr/3/>
2. Katarina Eriksson, Dr. Ondrej Doule, Lucie Poulet. Architectural concepts for a Lunar greenhouse within the MELISSA framework. *65th International Astronautical Congress*. Toronto, Canada : by the International Astronautical Federation, 2014. Pp. 9–13.
3. Roberto Furfaro, Sean Gellenbeck, Gene Giacomelli, Phil Sadler. Mars-Lunar Greenhouse (MLGH) Prototype for Bioregenerative Life Support Systems: Current Status and Future Efforts. *47th International Conference on Environmental Systems*. Charleston, South Carolina, 2017. ICES-2017-347. Pp. 1–11.
4. Paul Zabel, Conrad Zeidler, Vincent Vrakking, Markus Dorn, Daniel Schubert. Biomass Production of the EDEN ISS Space Greenhouse in Antarctica During the 2018. *Experiment Phase Frontiers in Plant Science*. Vol. 11, art. 656. 2020. Pp. 1–11. doi:10.3389/fpls.2020.00656.