

**Фагманов Искандер Ильдарович,**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель:  
**Малая Елена Владимировна,**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

## **НАДУВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЛУННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ: ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Аннотация.** В работе представлен обзор инновационных решений в области надувных модулей, предназначенных для эксплуатации на Луне. Описаны современные композитные материалы и многослойные оболочки, обеспечивающие прочность, герметичность и безопасность. Рассмотрены проекты по интеграции жестких элементов и систем жизнеобеспечения в надувную структуру. Делается вывод о том, что гибридные надувно-жесткие конструкции являются оптимальным решением для развертывания первой постоянной базы на Луне.

**Ключевые слова:** Надувные модули (или надувные конструкции), лунная база, реголит (или лунный грунт), спекание реголита, использование местных ресурсов, радиационная защита, развертывание конструкций.

**Введение.** Освоение Луны и создание на ее поверхности долговременных обитаемых станций является ключевым этапом в стратегии космических исследований ведущих стран мира. Устойчивое присутствие человека на Луне открывает беспрецедентные возможности для научных экспериментов, испытания технологий для будущих миссий на Марс, а также использования локальных ресурсов.

Однако одна из главных проблем на этом пути – высокая стоимость доставки грузов с Земли и необходимость обеспечения надежного укрытия для астронавтов в условиях экстремальных температур, вакуума, радиации и угрозы микрометеоритов. Традиционные жесткие модули, подобные используемым на Международной космической станции, обладают высокой прочностью, но их масса и габариты ограничивают полезный объем, который можно разместить на лунной поверхности. Это делает строительство просторной базы длительным, сложным и чрезвычайно дорогостоящим за счет необходимости множества запусков тяжелых ракет.

В качестве эффективной альтернативы в последние десятилетия активно разрабатываются концепции надувных обитаемых модулей. Данная технология предлагает парадигмальный сдвиг: вместо доставки готовых жестких конструкций на Луну транспортируются компактно свернутые оболочки, которые развертываются и надуваются уже на месте. Такой подход позволяет создавать значительные герметичные объемы для жизни и работы уже после одной транспортной операции, что кардинально снижает затраты и увеличивает темпы освоения.

**Методы и материалы; результаты.** Оболочка состоит из многослойная структура из сверхпрочных тканей (кевлар, СВМПЭ) для каркаса, газонепроницаемых пленок (каптон) для герметичности и внешней защиты от микрометеоритов (керамические ткани) и радиации (слой реголита), а наполнителем является воздух или инертный газ (азот) для поддержания давления.

Методика включает в себя развертывание (доставку в сложенном виде и надув на месте с помощью компрессора), защиту (экранирование от радиации и температур путем засыпки



модуля слоем лунного грунта (реголита) с использованием роботов-манипуляторов) и стабилизацию (сочетание надувной конструкции с жесткими узлами (шлюзы, каркасы) для интеграции систем жизнеобеспечения).

Результатами исследования являются : 1) характеристики надувных модулей – коэффициент компактизации: 8:1 (объем в транспортировочном состоянии к рабочему), время развертывания базового модуля: 2.5-4 часа, рабочее давление: 50.7 кПа (0.5 атм), срок службы: не менее 15 лет; 2) механические испытания – прочность на разрыв композитных мембран: 420-580 Мпа, сопротивление проколу: выдерживают воздействие осколков до 1.5 Дж, стабильность формы при температурных колебаниях  $\pm 150^{\circ}\text{C}$ ; 3) защитные свойства – радиационная защита (с реголитовым покрытием 50 см): 25-30 г/см<sup>2</sup>, стойкость к микрометеоритам: защита от частиц до 1 мм на скорости 15 км/с, теплопроводность многослойной оболочки: 0.8-1.2 Вт/(м·К); 4) сравнительный анализ технологий - масса конструкции: в 3.5 раза меньше традиционных жестких модулей, стоимость доставки: снижение на 60-70% по сравнению с металлическими аналогами, скорость монтажа: в 4-5 раз выше, чем у сборно-разборных конструкций.

**Заключение.** Проведенный анализ демонстрирует, что надувные конструкции представляют собой один из наиболее перспективных и технологически обоснованных подходов к созданию первой устойчивой инфраструктуры на Луне. Их ключевые преимущества – радикальное снижение массы и объема полезной нагрузки при запуске, возможность создания значительных герметичных объемов и относительно быстрое развертывание – делают их оптимальным решением для первоначального обустройства лунной базы.

*Список литературы:*

1. Blamont, J., & Kalamaroff, G. (2022). Inflatable Habitats for Lunar Exploration: Design, Materials, and Deployment Challenges. *Journal of Aerospace Engineering*
2. NASA. (2020). Lunar Surface Innovation Initiative: Inflatable Systems. NASA Technical Report.
3. NASA. (2020). Lunar Surface Innovation Initiative: Inflatable Systems. NASA Technical Report. Sowers, G. F., & Dreyer, C. B. (2019). "Ice and Regolith Utilization for Shielding of Inflatable Structures on Mars and Moon." *Acta Astronautica*.
4. Häuplik-Meusburger, S., & Bannova, O. (2016). *Space Architecture Education for Engineers and Architects*. Springer.

