

УДК 629.7.048

Особенности комплекса систем жизнеобеспечения экипажа лунной и планетной баз

Прошкин Владимир Юрьевич

v_proshkin@mail.ru

АО «НИИхиммаш», Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности комплекса систем жизнеобеспечения экипажа лунной и планетной баз по сравнению с орбитальными космическими станциями. Главные особенности: использование местных ресурсов (в первую очередь воды/льда) для жизнеобеспечения экипажа и развития базы, разнообразные биотехнические системы, большие объемы обитаемых отсеков, наличие гравитации, организация производственных процессов. При создании базы — закладывать перспективы ее развития на несколько десятилетий.

Ключевые слова: лунная и планетная база, комплекс систем жизнеобеспечения экипажа, использование планетных ресурсов

Введение. Обитаемые лунная и планетные базы (ПБ) и комплекс систем жизнеобеспечения (КСЖО) для их экипажей, по сравнению с орбитальными космическими станциями (ОКС) [1], будут обладать рядом особенностей, в том числе из-за намного большей стоимости и длительности доставки ресурсов с Земли.

Материалы и методы; результаты. 1. Добыча воды (льда) как местного ресурса — главное условие выбора места для ПБ. Использование местной воды: потребление экипажем; получение электролизом воды O_2 для дыхания и других нужд и H_2 как высокоэнергетического продукта различного назначения; упрощение КСЖО (нет необходимости для получения воды концентрировать и перерабатывать (с электролизным H_2) выделяемый экипажем CO_2 и сушить влагосодержащие отходы); возможно, в КСЖО не понадобится часть технически сложных систем регенерации воды, включая ее очистку на расходоуемых сорбентах (вода из урины, санитарно-гигиеническая и др.); санитарно-гигиенические процедуры (умывальник, душ) и стирка белья — сокращение расхода средств индивидуальной гигиены и одноразовой одежды; техническая вода различного назначения (включая производственные процессы (ПрП) на ПБ и потребление в биотехнических системах жизнеобеспечения (БТСЖО)).

Необходимо исследовать состав и содержание примесей в воде местных ресурсов и разработать системы очистки с учетом целевого назначения воды; провести сравнительный анализ массовых, энергетических и других затрат различных методов регенерации воды в КСЖО по сравнению с использованием (добыча и очистка) воды местных ресурсов.

2. Получение газообразного азота из местных ресурсов (грунта): компенсация утечек атмосферы обитаемых модулей ПБ; продувка трубопроводов

(например, при электролизе воды); возможное потребление в БТСЖО (азото-содержащие соединения) и при ПрП на ПБ.

3. Для базы на Марсе: создание технологии извлечения CO_2 из атмосферы и/или полярных шапок для растений оранжереи (и других объектов) БТСЖО и ПрП на ПБ.

4. БТСЖО как часть штатного КСЖО для ПБ сегодня имеет неприемлемые массово-энергетические характеристики, не достаточную устойчивость и ряда других проблем.

БТСЖО на ПБ: экспериментальные (не штатные) системы; большие площади оранжерей (по сравнению с ОКС); кроме оранжерей и возможного изучения животных — наличие звеньев с другими биообъектами (в первую очередь бактерии, одноклеточные водоросли, низшие грибы). Текущие задачи БТСЖО: производство растительной пищи и витаминов; возможно — регулирование состава атмосферы (полностью или частично, как побочный процесс, поглощение CO_2 , выделение O_2 , очистка от микропримесей) и переработка отходов; обязательно — психологическая разгрузка экипажа. Перспективная задача БТСЖО (самостоятельно или вместе с физико-химическими ПрП): использовать бактерии и грибы для переработки планетного грунта в субстрат для оранжерей и при добыче минералов. Будущее БТСЖО: производство животной пищи (или бактериального аналога животного белка).

Для БТСЖО на ПБ необходим свой КСЖО, при этом оптимальные условия окружающей среды для экипажа и биообъектов БТСЖО будут отличаться по температуре, влажности, освещенности, содержанию CO_2 (более высокое для оранжерей) и др. и для каждого звена БТСЖО также будут свои оптимальные условия. Для проведения комплексных исследований перспективным является создание на ПБ «мини биосферы» из набора взаимодействующих между собой видов (растения, бактерии, грибы), что потребует значительных площадей и объемов, но наличие резервов в «мини биосфере» повысит ее устойчивость.

5. Для базы на Луне перспективно совмещение КСЖО с системой энергоснабжения: электролизер воды — кислородно-водородный топливный элемент в одном аппарате. Лунный день: электролиз воды от солнечных батарей, использование O_2 для дыхания и накопление в баках O_2 и H_2 . Лунная ночь: электролизер вырабатывает энергию как топливный элемент, используя накопленные газы, получаемая чистая вода используется экипажем.

Альтернатива: кислородно-метановый топливный элемент, при наличии в составе КСЖО системы концентрирования и переработки $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2$ электролизный $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$.

6. Наличие гравитации на ПБ: техническое упрощение организации ряда процессов в КСЖО — кипение/испарение-конденсация, разделение газо-жидкостных смесей, теплообмен (гравитационная конвекция) и др.; упрощение организации массообмена в БТСЖО; влияние на экипаж (в сравнении с ОКС)

и через него на КСЖО. Вероятно, гравитация на Марсе и, особенно, на Луне недостаточная для длительного (несколько лет) пребывания человека [2].

7. Максимальное использование местных ресурсов (вода/лед, грунт, атмосфера): резервный фонд КСЖО и БТСЖО; материал для строительства ПБ и ПрП. Возможно получение из грунта воды и кислорода (для дыхания экипажа и окислитель реактивного двигателя).

8. Конструкция ПБ — набор автономных модулей (повышение живучести при нештатной ситуации). Расположение ПБ — под поверхностью планеты, например в естественных лавовых трубах [3]: это проект дороже, чем ПБ на поверхности, но он даст защиту экипажу от космической радиации и позволит создавать ПБ с большим суммарным объемом обитаемых отсеков (это резерв для КСЖО, особенно в части атмосферы).

Заключение. При создании ПБ закладывать перспективу ее развития на долгое время (десятилетия) — большой объем отсеков, использование планетных ресурсов и ПрП, с возможностью покинуть ПБ (экономические или др. причины) и последующим возвращением (через несколько лет). Это потребует дополнительных затрат, но иначе ПБ будет частный и ограниченный в объеме и времени существования проект без длительных перспектив развития.

Список источников

- [1] Прошкин В.Ю. Особенности совместной работы и взаимодействия систем в комплексе систем жизнеобеспечения экипажей долговременных космических станций. *XLVIII академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, т. 3, с. 205–208.
- [2] Jones H.W. The Partial Gravity of the Moon and Mars Appears Insufficient to Maintain Human Health. *50th International Conference on Environmental Systems*, 2021, paper no. ICES-2021-142.
- [3] Sakurai M., Hoshinouchi N., Shinohara N., Haruyama J. Exploration of Vertical Holes Near the Lunar Polar Regions to Confirm the Presence of Water in Underground Caves and Their Utilization. *54th International Conference on Environmental Systems*, 2025, paper no. ICES-2025-295.