

ЛУННАЯ ОРАНЖЕРЕЯ И СИСТЕМА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Кудрицкий А.Н. (БГТУ), Субботин Р.С. (БГТУ), Хасин А.А. (РКК «ЭНЕРГИЯ»)

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент Матвеев П.В.
(БГТУ)

Введение. В настоящее время идея Лунной экспедиции и возможность создания на естественном спутнике Земли жилой базы обретает новые более реальные сроки в 10-15 лет [1]. Это обозначает необходимость модернизации существующих систем жизнеобеспечения (СЖО), путем повышения коэффициента замкнутости круговорота веществ с 60% до 93-99% для кислорода, воды, а также разработку систем пропитания экипажа свежими продуктами [2]. На данный момент постоянно обитаемым космическим объектом является Международная космическая станция (МКС), находящаяся в 400–450 км от поверхности Земли, время полета до которой в последние годы было сокращено до 90 минут [3]. В связи с этим все необходимые ресурсы для функционирования станции и обеспечения экипажа могут доставляться на регулярной основе. Стоимость таких поставок сопоставима с затратами на доставку космических аппаратов на низкую околоземную орбиту (НОО), что снижает необходимость кардинального совершенствования СЖО и применения биологических систем жизнеобеспечения (БСЖО) для замыкания круговорота веществ. Так согласно последним разработкам СЖО МКС возможно замкнуть на 95-96% по воде и кислороду благодаря физико-химической системе жизнеобеспечения (ФХСЖО) МКС [2]. Регулярные поставки ресурсов на МКС делают сложные замкнутые СЖО нового образца экономически нецелесообразными в околоземном пространстве. Затраты на доставку до МКС сопоставимы с выводом аппаратов на НОО, что снижает необходимость в дорогостоящих и сложных БСЖО. Помимо этого, все необходимые ресурсы для функционирования станции и обеспечения экипажа могут доставляться на регулярной основе без каких-либо задержек, даже при срыве сроков нескольких миссий. Ситуация с Луной существенно отличается от поставок на НОО и МКС. Помимо того что оптимальное окно запуска на естественный спутник открывается не всегда, а только дважды в месяц, из-за чего срывы сроков запуска становится критичным фактором, Ракета-носитель "Ангара-А5М" может выводить на низкую околоземную орбиту до 19 тонн груза, однако ее полезная нагрузка для полетов к Луне значительно меньше – от 1 до 3 тонн. Учитывая необходимость транспортировки грузов на грузовом корабле до орбиты Луны и аппарат для спуска полезных грузов на поверхность, стоимость продуктов питания наряду с научным и строительным оборудованием возрастает многократно по сравнению с доставкой тех же грузов на НОО. В таких экстремальных условиях доставки на Луну невозможно обеспечить полноценное питание, а также и утилизацию отходов жизнедеятельности без специального комплекса. Поэтому необходимо разработать КСЖО нового образца.

Основная часть. Для первичной оценки использования Лунной оранжереи наилучшим вариантом будет опираться на практический опыт земных исследований биологических замкнутых систем. Наиболее подходящим для нас стал эксперимент в установке "БИОС-3" по которому есть подробная информация в открытом доступе [5]. В данном расчете не учитывалось употребление экипажем продуктов питания животного происхождения, а также возможные изменения приоритетов рациона питания в ходе длительной экспедиции. В рамках эксперимента "БИОС-3" площадь посевов составила примерно 39,3 м² чего не хватало для пропитания 3 человек экипажа [5]. Мы же предполагаем экипаж от 2 до 5 человек, вследствие чего посадочная площадь должна составить около до 91 м². Это возможно при габаритах цилиндрического модуля диаметром 4 метра, и длиной 6 метров, что вписывается в габариты обтекателя для существующих РН. В результате расчета и комплектации модуля было получено оптимальное количество посевных площадей в 101 м², которые будет удобно обслуживать. Соотношение

площади посадок культур взяты из эксперимента “БИОС-3” с поправкой на достаточное производство пшеницы. Учитывая результаты расчёта, можно выявить зависимости потребностей экипажа, состоящего из 3 космонавтов в зависимости от времени экспедиции в земных сутках. В первом приближении с использованием БСЖО, мы почти в 2,38 раза сократить поставки по питанию с Земли. В дальнейшем для полного замыкания СЖО потребуется воспроизводство животных продуктов питания, что приводит к необходимости увеличения посевных площадей, для получения кормовой базы и создания космических ферм [7]. Данный биологический модуль хоть и превосходит по площади и производительности почти в 2,56 посевную площадь в эксперименте “БИОС-3”, но не стоит забывать и об обратной стороне потребностей таких систем, как электричество, теплоотвод и водоснабжение. Если учитывать, что растениям необходимо облучение в области фотосинтетической активной радиации (ФАР) 150-250 Вт/м², то на один из 8 стеллажей в 12 м² уйдёт 1150 Вт/час электроэнергии на освещение. Исходя из этого, суммарно понадобится отводить тепло от всей системы ламп в размере 2070 Вт/час, не учитывая инфракрасное излучение, исходящее от ламп полного спектра. Из-за этого факта необходимо продумать систему охлаждения, способную отводить данную тепловую нагрузку с учётом работы и других систем агрегатов. Водоснабжение же такого модуля примерно будет составлять в 900 литров воды, которая будет постоянно циркулировать по корневым модулям, омывая корневую систему растений. Стоит упомянуть и о времени затратах экипажа на обслуживание комплекса. В эксперименте обслуживание оранжереи занимало 80% всего времени, что недопустимо для космической миссии, в таком случае необходимо автоматизировать большинство рутинных задач ухода за растениями и сбора урожая, что поможет сократить затраты на обслуживание всего комплекса до 3 часов ежедневно, что займёт по часу работы с экипажем, состоящего из 3 человек. Чтобы повысить уровень замкнутости системы в отношении микро-, макроэлементов, газовой среды, а также обеспечить переработку органических отходов, биокomплекс следует оборудовать установкой холодного сжигания [4], основанной на принципе окисления органических остатков атомарным кислородом, получаемым в ходе электролиза пероксида водорода (H₂O₂). Вследствие этой реакции, образуется газовая смесь, в составе которой преобладают кислород, водород и метан; питательный раствор, а также твердый минеральный осадок. Газовая среда очищается и впоследствии используется для получения перекиси водорода методом обратимой, каталитической, антрахиноновой реакции. Жидкий субстрат же будет возвращаться в корневую среду растений оранжереи. Данное решение позволит увеличить степень замкнутости по веществам до 96%.

Выводы. На протяжении пяти четырёх лет проект занимается исследованием сложных систем жизнеобеспечения, которые уже сейчас апробируются нами в лабораторных условиях. В будущем такой комплекс можно использовать и в труднодоступных районах Земли, таких как Заполярье, где производство и доставка растительных продуктов питания крайне затруднены и затратны. Помимо обеспечения питанием, переработка отходов жизнедеятельности на добывающих платформах способствует сохранению экологии тундры и океанских экосистем. Впоследствии это позволит нам проводить эксперименты и в космических экспедициях, однако необходимо учитывать, что наличие дублирующей системы жизнеобеспечения ФХСЖО, даже в условиях успешной работы БСЖО, является критически важным аспектом на всех ранних этапах освоения Луны и других дальних рубежей.

Список использованных источников:

1. NASA [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-shares-progress-toward-early-artemis-moon-missions-with-crew/>.
2. Гузенберг А.С., Железняков А.Г., Романов С.Ю., Телегин А.А., Юргин А.В. Выбор комплекса жизнеобеспечения для экипажей долговременных космических станций [Текст] РКК «Энергия» 2015 г.
3. Чудинов, Н. А. Реализация одновитковой схемы сближения космического корабля "Союз-МС" с международной космической станцией / Н. А. Чудинов, Р. Ф. Муртазин // XLIII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства : Сборник тезисов, Москва, 29 января – 01 2019 года. Том 1. (национальный исследовательский университет), 2019. – С. 364-365. – EDN VUDYVU.
4. С. В. Трифонов, Ю. А. Куденко, А. А. Тихомиров, В. В. Клевец Перспективы использования "мокрого" сжигания органических отходов в перексиде водорода для замкнутых систем жизнеобеспечения [Текст] // Химия в интересах устойчивого развития . — 2014. — № 22. — С. 203-208.
5. Leyuan Li, Beizhen Xie, Chen Dong, Dawei Hu, Minjuan Wang, Guanghui Liu, Hong Liu, Rearing *Tenebrio molitor* L. (Coleptera: Tenebrionidae) in the “Lunar Palace 1” during a 105-day multi-crew closed integrative BLSS experiment, Life Sciences in Space Research, Volume 7, 2015, Pages 9-14, ISSN 2214-5524, <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2015.08.002>.