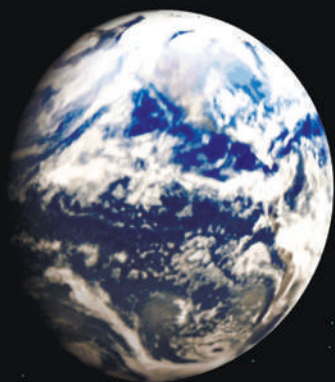


A LONG-TERM LUNAR BASE WITH ARTIFICIAL GRAVITY AND MINIMUM WEIGHT DESIGN

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ЛУННАЯ
БАЗА С ИСКУССТВЕННОЙ
ГРАВИТАЦИЕЙ И МИНИМАЛЬНОЙ
МАССОЙ КОНСТРУКЦИИ



Alexander O. MAYBORODA,
CEO, LLC "AVANTA-Consulting"
Research Company,
Rostov-on-Don, Russia,
mayboro@gmail.com



Александр Олегович МАЙБОРОДА,
директор научно-исследовательской компании
ООО «АВАНТА-Консалтинг»,
Ростов-на-Дону, Россия,
mayboro@gmail.com

Graphics of drawings – Dmitry Anisimov
The author of drawings – Alexander Mayboroda

Графика рисунков – Дмитрий Анисимов
Автор рисунков – Александр Майборода

ABSTRACT | Variants of a centrifuge-shaped lunar base providing Earth's gravity are considered. The best variant is chosen. Transportable parts of the base have minimum weight and easily minimized size. Possible indivisible parts of a centrifuge can weight 1 tone, given that the whole weight is 2-9 tones. This allows to deliver a centrifuge to the Moon using affordable rocket and space transport. Regolith antiradiation protection and artificial magnetic field with Earth's parameters together with natural gravity provide for practically unlimited lunar time for a base's staff. This allows to change the staff more rarely and, consequently, multiple times reduces the recent maintenance costs.

Keywords: *lunar base, artificial gravity, regolith antiradiation protection, space tether systems, tether centrifuge, toroidal centrifuge, air-inflated structures, camper, magnetic levitation, lunar roving vehicle, soil-thrower, the birth of children in space*

АННОТАЦИЯ | Рассматриваются варианты лунной базы в виде центрифуги, обеспечивающей земной уровень гравитации. Выбирается оптимальный вариант. Транспортируемые части базы имеют минимальные массы и легко минимизируемые габариты. Возможные кванты конструкции центрифуги соответствуют 1 т, при общей массе в диапазоне 2-9 т, что обеспечивает ее доставку на Луну имеющимся ракетно-космическим транспортом. Антирадиационная защита из реголита и искусственное магнитное поле с земными параметрами при наличии естественной величины силы тяжести на базе обеспечивают практически неограниченное время пребывания на Луне персонала базы, что сокращает частоту замены персонала и, соответственно, многократно уменьшает стоимость текущего обслуживания.

Ключевые слова: *лунная база, искусственная гравитация, антирадиационная защита из реголита, космические тросовые системы, тросовая центрифуга, торoidalная центрифуга, пневмоконтрукции, кемпер, магнитная левитация, луноход, грунтотмет, рождение детей в космосе*

ВВЕДЕНИЕ

Опыт космической деятельности показал необходимость сохранения в космосе привычных земных условий существования людей. Это, прежде всего, земной уровень тяжести. В условиях нулевой гравитации в организме происходят негативные изменения. Работа на поверхности Луны также сопровождается изменением привычных условий — лунное тяготение в шесть раз меньше земного. Риски для здоровья ограничивают длительность пребывания людей на Луне, а это многократно удорожает эксплуатацию будущей базы из-за частой смены экипажа. Воспроизводство привычных условий существования возможно при сооружении центрифуги в составе лунной базы для создания искусственной гравитации земного уровня, с одновременной защитой от солнечного и галактического излучения и генерацией магнитного поля с земными параметрами. При воспроизводстве типичных земных условий пребывание людей на Луне может быть увеличено с планируемых 1–3 месяцев до 12–36 месяцев.

Таким образом, создание долговременных баз на Луне требует их выполнения в виде центрифуг. Однако если защита от радиации и воспроизводство магнитного поля в помещениях базы могут быть реализованы современными средствами, то создание баз с искусственной силой тяжести считается невыполнимым в обозримом будущем из-за больших массогабаритных параметров.

Центрифуга ЦФ-18 в Центре подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина имеет плечо — радиус вращения длиной 18 метров. При этих параметрах

масса аппарата составляет 305 т [1, с. 59]. Для комфортного состояния людей в лунной центрифуге желательно иметь плечо равное 224 м и больше, так как при меньшем радиусе силы Кориолиса начинают ощутимо действовать на человека.

Действительно, прямое копирование земных образов центрифуг ведет к конструкциям с нереальными характеристиками. Требуются новые подходы к проектированию. Такие новые проектные решения существуют. Они решают задачу имитации земного уровня тяготения на Луне благодаря низкой материалоемкости центрифуг. Появились они в ходе НИР по созданию негосударственного общественного проекта лунной базы в 2014 году. Автор вошел в инициативную группу разработчиков компании «Лин Индастриал», резидента фонда «Сколково», с проектом лунной базы в виде центрифуги, совмещающей достоинство и рычажных, и тороидальных типов центрифуг.

Инициативу компании «Лин Индастриал» позитивно оценил директор Института космических исследований РАН Лев Зелёный: «В их команде есть талантливые люди. Какие-то их разработки в будущем могут пригодиться» [2]. Общественно-частный проект создания российской лунной базы получил наименование «Луна семь» и частично был опубликован в России и за рубежом. Проект был охарактеризован как ставящий Россию выше Китая и США в космической гонке [3]. В настоящей работе раскрываются малоизвестные материалы проекта «Луна семь». Воспроизводится логика выбора оптимальной конструкции.

ТРОСОВАЯ ЦЕНТРИФУГА

В условиях Луны, на первой стадии ее освоения, массивные центрифуги с жестким рычагом-плечом длиной в две сотни метров не могут рассматриваться как реальные проекты. Даже упрощенный аналог центрифуги ЦФ-18 с малым плечом для получения искусственной силы тяжести в 1 g может быть использован как часть лунной базы только при изготовлении на месте из лунного сырья. Однако лунную промышленность еще только предстоит создать.

Как известно, конструкции, работающие на растяжение, имеют материалоемкость на порядок меньшую, чем конструкции, работающие на сжатие. В проектах орбитальных центрифуг используются тонкие гибкие элементы — тросы вместо жесткого

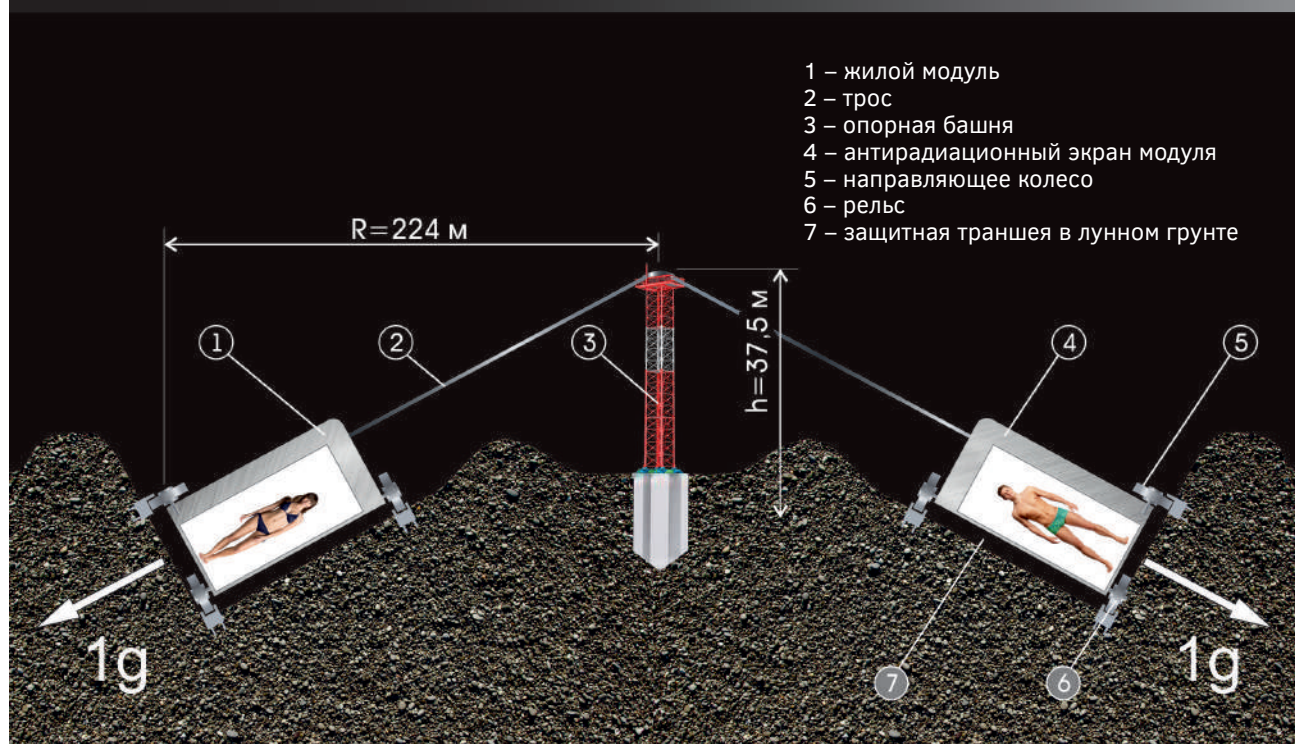
рычага. Такое соединение было апробировано на практике. В конце 1966 года был проведен опыт на пилотируемом корабле «Джемини» — он соединялся 30-метровой синтетической лентой с ракетной ступенью «Аджена». Связка космических объектов вращалась вокруг общего центра масс [4, с. 156; 5, с. 24.].

В первом приближении орбитальные тросовые центрифуги могут быть адаптированы к лунным условиям и успешно применены в составе долговременной обитаемой базы. Так, для создания центрифуги с плечом в 224 м необходимо использовать вертикальную штангу — башню высотой 37,5 м со ступицей на вершине, к которой тросами крепятся жилые модули.

При данном радиусе окружная скорость составит 46,56 м/с (167,6 км/ч). На Луне вес модулей в шесть раз меньше земного, что позволяет сэкономить на массе центральной штанги. Вместе с тем орбитальные центрифуги на низкой околоземной орбите прикрыты от космической радиации магнитным щитом Земли, тогда как на Луне такой защиты нет. Таким образом, лунная центрифуга должна иметь защиту жилых модулей от радиации, что существенно сказывается на массе ее конструкции. На каждый 1 м² поверхности модуля требуется антирадиационный экран массой около 2 т.

Противорадиационный экран может быть выполнен из местных ресурсов. По современным воззрениям, антирадиационная

Рис. 1. Тросовая центрифуга с опорной башней и траншеей



защита на основе реголита толщиной до 1 м обеспечит защиту от всех видов излучений, включая космические лучи и потоки протонов от Солнца даже в период солнечных вспышек. Масса модулей, таким образом, многократно увеличивается.

Сократить массу модулей можно использованием кольцевых траншей, внутри которых движутся привязные модули. В этом случае только часть поверхности модулей должна иметь антирадиационную защиту. На рис. 1 показана (вне масштаба) принципиальная схема тросовой центрифуги с защитой жилых модулей от радиации из реголита в виде валов, окружающих траекторию вращения модулей, и экранов, установленных на модуле.

Необходимость использования башни — недостаток данного типа центрифуги. Наклон троса под углом $9,5^\circ$ к поверхности при радиусе вращения в 224 м требует крепления тро-

сов к ступице на большой высоте — 37,5 м. Устранение этого недостатка возможно, если вертикальную часть нагрузки с тросов переложить на кольцевую путевую структуру. В этом случае трос, соединяющий модули за счет натяжения, будет находиться параллельно поверхности и потребность в опорной башне устраняется.

От центра вращения троса с двумя жилыми модулями на концах удобно пускать фуникулер для смены экипажа. Наличие фуникулера избавляет пользователей центрифуги от периодических остановок — смена экипажа может совершаться на ходу.

На рис. 2 и 3 показаны принципиальные схемы центрифуг без опорной башни.

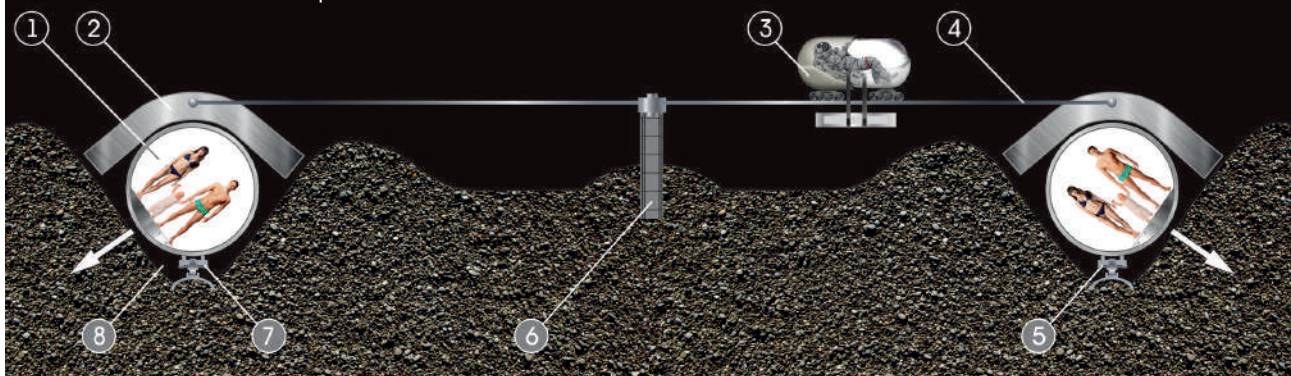
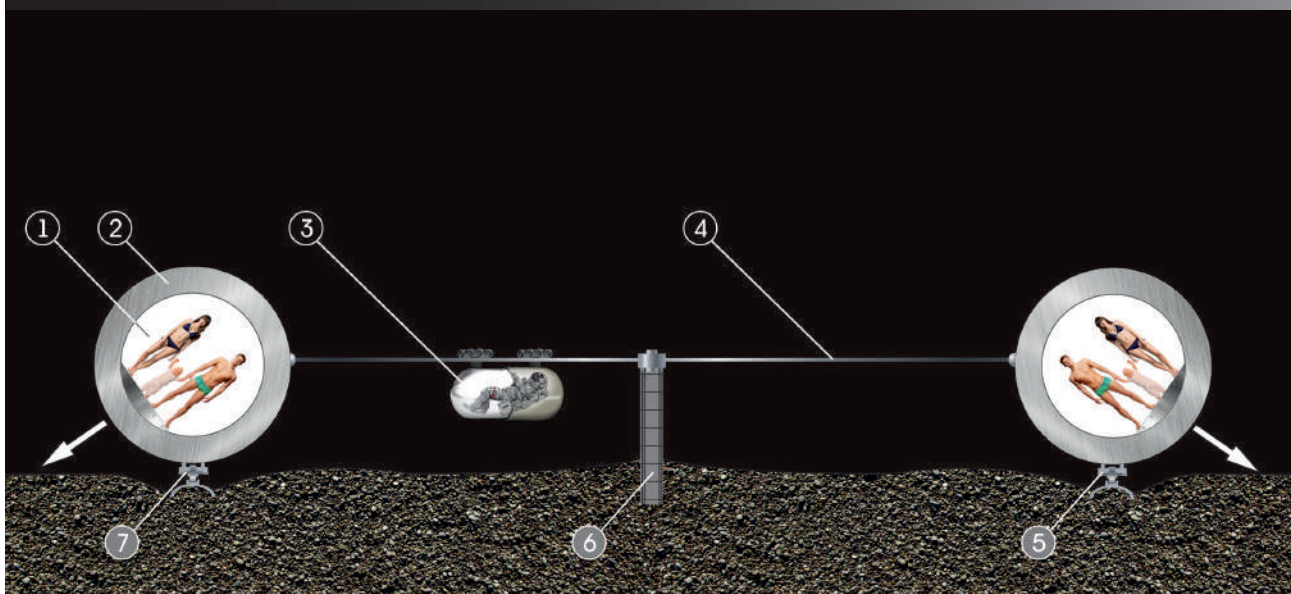
Вариант центрифуги с траншеей требует значительных землеройных работ — требуется извлечь до 30 тыс. м³ грунта. Вариант без траншеи требует только заполнения реголитом промежутка двойных стенок жилого модуля и, в первом приближении, представляется экономичным. Рассмотрим возможные параметры тросовой центрифуги без опорной башни и траншеи.

При заданных параметрах масса антирадиационной защиты из реголита составит 154 т. Сухая

КОНСТРУКЦИЯ ТРОСОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ ПОЗВОЛЯЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ФУНИКУЛЕР, ЧТО ИЗБАВЛЯЕТ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ЦЕНТРИФУГИ ОТ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ОСТАНОВОК — СМЕНА ЭКИПАЖА МОЖЕТ СОВЕРШАТЬСЯ НА ХОДУ

Рис. 2. Тросовая центрифуга с траншеей без опорной башни**Обозначения на рис. 2 и 3:**

- 1 – жилой модуль (наклон пола кабины – $80,5^\circ$ на схеме не показан)
- 2 – антирадиационный экран модуля
- 3 – кабина фуникулера (шлюзовая камера для перехода из кабины фуникулера не показана)
- 4 – трос (общая длина 448 м)
- 5 – направляющее колесо
- 6 – причальная мачта кабины фуникулера (устройства посадки в кабину не показаны)
- 7 – монорельс
- 8 – траншея

**Рис. 3.** Тросовая центрифуга без опорной башни и траншеи

масса каждого модуля — 4 т, что дает в итоге 158 т.

Каждый жилой блок для уравновешивания центробежной силы соединен тросом из сверхпрочного материала с разрывной длиной нити около 400 км, аналогов Дупеета или СВМПЭ, с осью в центре кольцевой путевой структуры. В ряде случаев трос должен быть тепло-

изолирован. Нагрузка на трос — 1550 кН. При шестикратном запасе прочности сечение троса составит $25,5 \text{ см}^2$ при массе 531 кг на каждый модуль.

Нагрузка колес модуля на путевую структуру в шесть раз меньше — 258 кН. На Земле такое давление на путь оказывает вагон массой 26,3 т. Такая нагрузка при скорости 167,6 км/ч требует

использования очень материалоёмкой путевой структуры. При диаметре кольцевой путевой структуры в 448 м ее длина равна 1407 м. Если использовать монорельс из суперпрочного пластика и сплавов бериллия, минимальная масса монорельса составит 11 т. Потребуются также опорные элементы, изготовленные из реголита путем плавления

ния. Таким образом, рост массы путевой структуры в виде кольцевой трубы-монорельса из бериллия и пластика и деталей из спеченного реголита может перекрывать выигрыш от сокращения затрат на землеройные работы по созданию кольцевой траншеи.

Вместе с тем при реализации программы использования на Луне 3D-принтеров, печатающих изделия из расплавленного реголита, такой вариант имеет перспективы.

Оба варианта центрифуг, показанные на *рис. 2 и 3*, имеют одинаковое количество жилых модулей. Минимальное количество модулей — 2 шт. Максимальное количество модулей — 162 шт.

Перспективен вариант оснащения модулей системой электродинамического подвеса допол-

нительно к колесному шасси. Колеса, которыми оснащены жилые блоки, используются для разгона и торможения. Большую часть времени в процессе движения с постоянной (рабочей) скоростью используется электродинамический подвес (ЭДП) на основе редкоземельных магнитов и путевого полотна в виде проводящей полосы из бериллия (или алюминия). Проводящая полоса установлена на каркасе в виде тонкостенной трубы, которая для создания внутреннего давления заполнена газом или, что безопаснее, прессованным реголитом.

В условиях сильной запыленности пространства над лунной поверхностью электризованными частицами очень желательно устранение трущихся поверхностей в механизме центрифуги. ЭДП обеспечивает бес-

контактное движение модулей по путевой структуре. Сила торможения ЭДП при небольшой толщине проводящей полосы может составлять 3% от веса модуля [6]. Соответственно, при скорости модуля 45,56 м/с для варианта центрифуги на *рис. 3*, где масса модуля равна 158 т, тормозная мощность равна 351 кВт. Таким образом, преимущество имеет тип центрифуги с внешней защитой модулей от радиации, выполненной в виде ограждения из реголита вдоль путевой структуры, показанный на *рис. 2*. Здесь тормозная мощность будет около 180 кВт на модуль. Однако для лунной базы, особенно на первом этапе, такой уровень мощности слишком высок — необходимо искать более эффективное решение.

ТОРОИДАЛЬНАЯ ЦЕНТРИФУГА

Модули, избавленные от радиационной защиты, имеют массу в 4 т. При заданной скорости движения такого модуля с ЭДП тормозная мощность составит 9 кВт, поэтому оптимальным решением будет такая конструкция центрифуги, которая обеспечивает защиту экипажа от радиации полностью за счет внешних неподвижных сооружений. Такая конструкция предполагает переход от кольцевой траншеи к тоннелю в грунте. А это значит, что трос становится элементом, препятствующим полному закрытию траншеи. Следовательно, оптимальная конструкция — это центрифуга, использующая для организации кругового движения модулей только кольцевую путевую структуру. Именно такая бестросовая центрифуга тороидального типа была разработана в ходе НИР по проекту «Луна семь».

Преобразование траншеи в закрытый тоннель позволяет использовать герметичные конструкции путевой структуры, что, в свою очередь, дает воз-

можность использовать различные пневмокаркасы, которые имеют на порядки меньшую массу, чем конструкции, работающие на сжатие.

На *рис. 4* изображена принципиальная схема тороидальной центрифуги с пневматической путевой структурой.

Возможен следующий вариант центрифуги. Основа — газонаполненная кольцевая труба с внутренним давлением в диапазоне от 0,05–0,1 до 0,3–1 бар. Кольцевая труба засыпана реголитом. Внешний диаметр

тора — 448 м. Диаметр кольцевой трубы тора — 4,5 м. Диаметр жилых модулей — 3,2 м. Длина модулей — 8,6 м, без учета длины носового и хвостового обтекателей. В головной части каждого модуля (или сцепки модулей) находится полусферический головной обтекатель. В конце каждого модуля (или сцепки модулей) находится надувной конус-обтекатель длиной 4,3 м. Масса каждого модуля — 4 т. Количество модулей для первого этапа — от 1 до 6 шт. Максимально возможное количество модулей — 163 шт.

ТОРОИДАЛЬНАЯ ЦЕНТРИФУГА ПРЕДПОЛАГАЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТРАНШЕИ В ЗАКРЫТЫЙ ТОННЕЛЬ, ЧТО ПОЗВОЛЯЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ГЕРМЕТИЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПУТЕВОЙ СТРУКТУРЫ. ЭТО ДАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПНЕВМОКАРКАСОВ, КОТОРЫЕ ИМЕЮТ НА ПОРЯДКИ МЕНЬШУЮ МАССУ, ЧЕМ КОНСТРУКЦИИ, РАБОТАЮЩИЕ НА СЖАТИЕ

Рис. 4. Тороидальная центрифуга

- 1 – жилой модуль (диаметр 3,2 м)
- 2 – путевая структура в виде газонаполненной тонкостенной трубы (диаметр 4,5 м)
- 3 – антирадиационный экран в виде насыпи реголита (длина 1407 м)
- 4 – колесо модуля
- 5 – часть пневмоконструкции, выполняющей функцию опорной поверхности для колеса модуля
- 6 – роверы (луноходы), для выполнения работ по выравниванию ложа путевой структуры и засыпке реголитом тороидальной центрифуги прицепным грунтометом



Расчет мощности, необходимой для компенсации аэродинамического сопротивления при давлении 0,1 бар и температуре воздуха -30°C , дает следующие результаты: 1 модуль — мощность 11,2 кВт; поезд из 3 модулей — 22,4 кВт; поезд из 6 модулей — 38 кВт. Требуется также дополнительная мощность для преодоления иных видов сопротивления движению. Модуль с ЭДП — 9 кВт. Модули на пневматических колесах — 31 кВт. Модули на металлических колесах,

катящихся по трубчатым металлическим рельсам на пневмокаркасе, — около 3 кВт каждый.

Толщина стенок путевой структуры в виде тора — 0,1 мм для давления газа 0,05–0,1 бар. Масса тора в зависимости от конструкционного материала: сталь — 15 500 кг; титановые сплавы — 8950 кг; алюминиевые сплавы — 5370 кг; бериллиевые сплавы — 3700 кг; СВМПЭ — 1850 кг. Прототип такой конструкции — ракеты Centaur и Atlas, с толщиной

стенок 0,127 и 0,254 мм соответственно.

Масса защитной насыпи при высоте в 5,5 м равна 128 тыс. т. Быстрое создание защитной насыпи возможно при помощи грунтометов — на Земле такие механизмы используются для тушения пожаров. На Луне эффективность грунтометов возрастает. Например, при мощности 1,5–2 кВт лунный грунтомет бросает реголит потоком до 33 кг/с на расстояние до 25 м по дуге высотой больше

6 м. Такой агрегат за один год способен создать насыпь массой 1 млн тонн. Соответственно, на засыпку путепровода потребуется 45 суток рабочего времени.

Прототипы жилых модулей — жилые модули, разработанные в СССР для базы «Звезда». Масса советских модулей — 8 т, масса модулей центрифуги за счет меньшей массы зашиты — 4 т. Они подобны «домам на колесах», или автобусам-кемперам.

Использование готовых решений проекта «Звезда» обеспечит максимально комфортные условия, о чем свидетельствуют участники проекта: «Внутри сооружений мы создали очень комфортные условия, как на Земле. Это ведь очень важно — вахта на Луне предполагалась примерно на полгода» [7, с. 112].

Настоящий проект для «Луны семь» получил рабочее название «Грависити» или «Гравитисити» (GravityCity). В случае реализации за счет более высокой комфортности он увеличит сроки

пребывания на Луне до двух-трех лет. Эта величина минимальна, так как ориентируется на экспериментально подтвержденные сроки пребывания людей в замкнутых условиях порядка двух лет, к примеру, при имитации полета на Марс. В модулях «Гравитисити» воспроизводится магнитное поле, подобное земному.

В «Гравитисити» члены экипажа базы будут проходить курсы релаксации. Это существенно увеличит время работы бригад, долго находящихся вне центрифуги, и сократит затраты на смену персонала. Если отдых в поезде с земной тяжестью в течение длительного времени будет дешевле отправки персонала на Землю для реабилитации и последующего возвращения на Луну, то это решает вопрос о практически беспроблемном пребывании человека на Луне. В последующем лунные базы будут комплектоваться постоянным персоналом из добровольцев, которые будут иметь возможность рожать и воспитывать детей на Луне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лунная колония на основе базы с искусственной силой тяжести обеспечивает условия для жизни людей на Луне без ограничений срока пребывания, вплоть до создания поселения с колонистами, прибывшими на постоянное жительство без возвращения на Землю. Таких желающих навечно покинуть Землю, как показали исследования по проекту Mars One, набирается более 200 тыс. человек, что делает реальным рекрутирование первой дюжины колонистов из числа лучших претендентов. Имеющиеся научные данные позволяют предполагать, что имитация земных условий в виде силы тяжести, величины магнитного поля и низкого радиационного фона обеспечивает беспроблемное пребывание людей на Луне. Долговременные колонии предполагают семейный образ жизни их обитателей. Соответственно, высоковероятным становится рождение людей вне Земли и появление первого «космического человека», а затем и новой «космической расы».

С экономической точки зрения база с искусственной гравитацией решает проблему сокращения крайне высоких затрат на доставку экипажей на Луну и их возвращения на Землю. Вместо изредка посещаемых роботизированных лунных поселков, управляемых с Земли с задержкой сигнала в три секунды, за счет операторов на лунной базе появляется возможность значительного ускорения работы на предприятиях, без необходимости дожидаться создания интеллектуальных роботов.

Возможна коммерциализация НИОКР за счет организации посещений и пребывания на опытных наземных образцах базы-центрифуги «Гравитисити».

Литература

1. Морозов С. Л. Идеология космической экспансии // Воздушно-космическая сфера. 2019. №1(98). С. 50-61.
2. Виталий Анков. Российская компания вызвалась создать базу на Луне [Электронный ресурс] // РИА Новости. 31 декабря 2014. URL: <https://ria.ru/20141231/1040992406.html> (Дата обращения: 13.08.2019).
3. 'Luna 7', el proyecto que pone a Rusia por encima de China y EE.UU. en la carrera espacial [Электронный ресурс] // TV-Novosti, 2005-2019. URL: https://actualidad.rt.com/ciencias/164916-videos-fotos-luna-rusia-proyecto?fbclid=IwAR2BpWw3q_rkSmRz4aFu5wYzSmzieHwVQGTF0qESbV_Hq42tHJWdN72_Z_o (Дата обращения: 13.08.2019).
4. Горелов С.К.; Софьян А.П.; Щербakov В.И. Развертывание космической тросовой системы при доставке спускаемого аппарата с орбитальной станции на Землю // Труды военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2016. № 652. С. 154-159.
5. Осипов В.Г., Шошунов Н.Л. Космические тросовые системы: история и перспективы // Земля и Вселенная. 1998. №4. С. 19-29.
6. Кочубей Т.В., Майборода А.О. О влиянии геометрических параметров системы электродинамического подвеса на силовые его характеристики // Космонавтика и ракетостроение. 2010. №3. С. 133-140.
7. Мержанов А.И. Лунная база «Барминград». Проект, опередивший время // Воздушно-космическая сфера. 2018. №2(95). С. 108-117.

References

1. Morozov S.L. Ideologiya kosmicheskoy ekspansii. Vozdushno-kosmicheskaya sfera, 2019, no. 1, pp. 50-61.
2. Vitaliy Ankov. Rossiyskaya kompaniya vyzvalas sozdat bazu na Lune. RIA Novosti. 31 December 2014. Available at: <https://ria.ru/20141231/1040992406.html> (Retrieval date: 13.08.2019).
3. 'Luna 7', el proyecto que pone a Rusia por encima de China y EE.UU. en la carrera espacial. TV-Novosti, 2005-2019. Available at: https://actualidad.rt.com/ciencias/164916-videos-fotos-luna-rusia-proyecto?fbclid=IwAR2BpWw3q_rkSmRz4aFu5wYzSmzieHwVQGTF0qESbV_Hq42tHJWdN72_Z_o (Retrieval date: 13.08.2019).
4. Gorelov S.K.; Sofyan A.P.; Shcherbakov V.I. Razvertivaniye kosmicheskoy trosovoy sistemy pri dostavke spuskaemogo apparata s orbitalnoy stantsii na Zemlyu. Trudy voenno-kosmicheskoy akademii imeni A.F. Mozhaevskogo, 2016, no. 652, pp. 154-159.
5. Osipov V.G., Shoshunov N.L. Kosmicheskiye trososivye sistemy: istoriya i perspektivy. Zemlya i Vselennaya, 1998, no. 4, pp. 19-29.
6. Kochubey T.V., Mayboroda A.O. O vliyaniy gheometricheskikh parametrov sistemy elektrodinamicheskogo podvesa na silovyye ego kharakteristiki. Kosmonavtika i raketostroyeniye, 2010, no. 3, pp. 133-140.
7. Merzhanov A.I. Lunnaya baza «Barmingrad». Proekt, operedivshiy vremya. Vozdushno-kosmicheskaya sfera, 2018, no. 2, pp. 108-117.

© Майборода А.О., 2019

История статьи:

Поступила в редакцию: 07.08.2019
Принята к публикации: 21.08.2019

Модератор: Дмитрий С. В.

Конфликт интересов: отсутствует

Для цитирования:

Майборода А.О. Долговременная лунная база с искусственной гравитацией и минимальной массой конструкции // Воздушно-космическая сфера. 2019. №3. С. 36-43.