

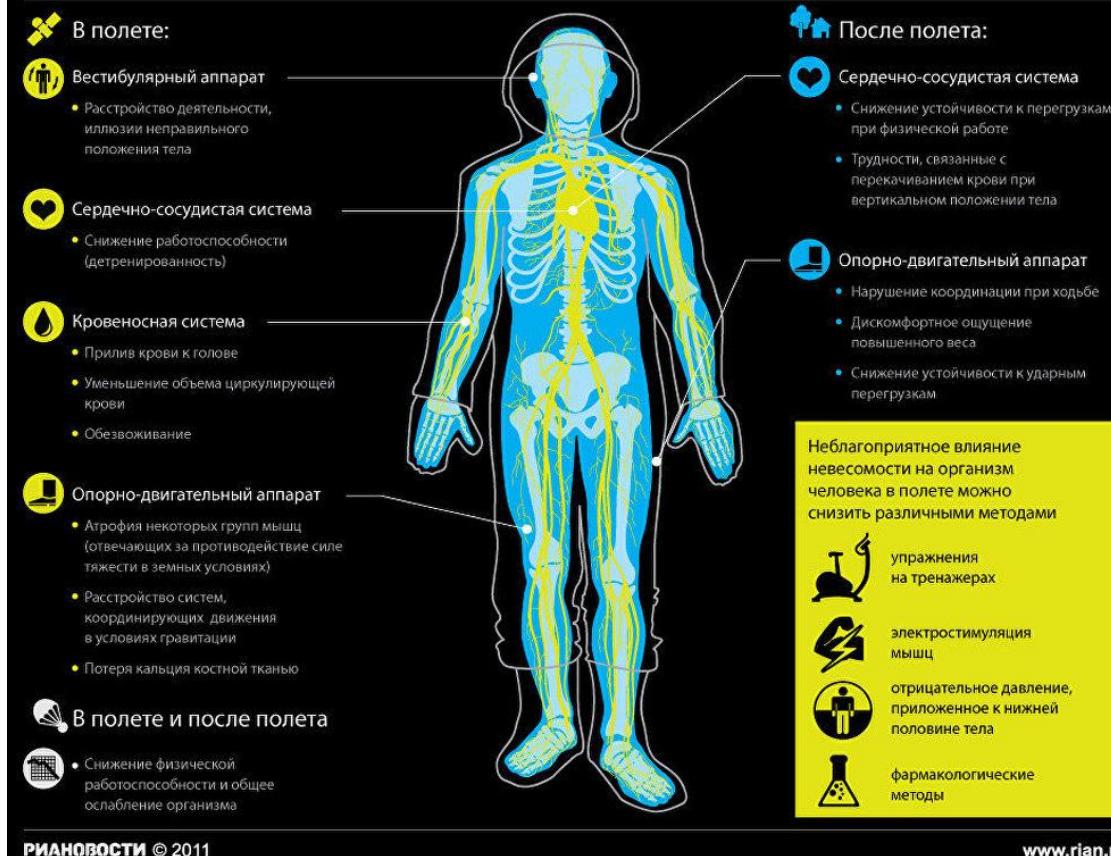
Движущиеся модули в пневматической кольцевой трассе под грунтом – основа долговременной лунной базы.

А.О. Майборода.
МКК 12 апреля 2021



Невесомость коварное состояние –
начинается приятно, а заканчивается ужасно.

Воздействие невесомости на организм космонавта

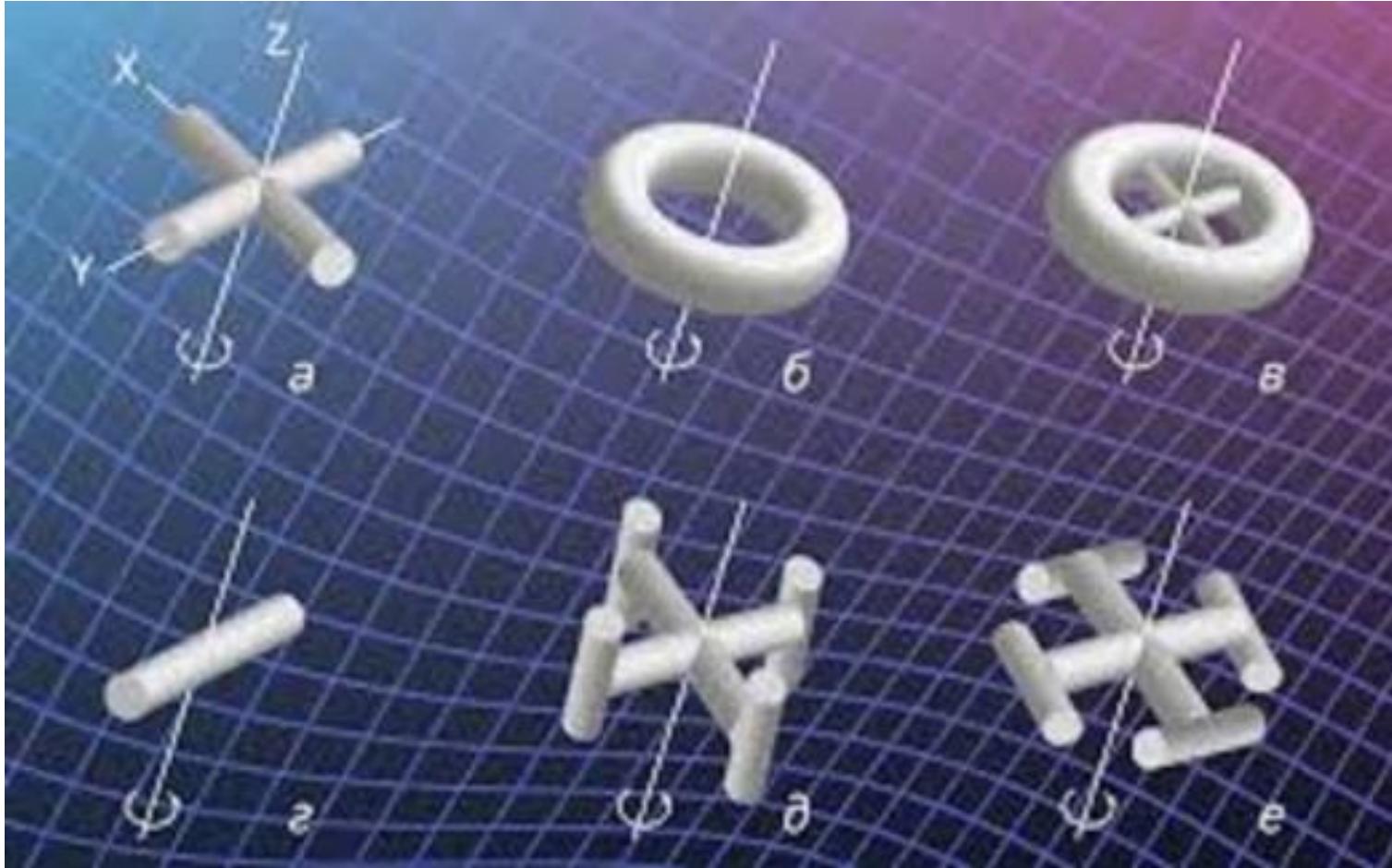


«У космонавтов после возвращения с Международной космической станции наблюдается повышение внутричерепного давления, нарушение кровообращения и тромбоз внутренней яремной вены, а также смещение мозга вверх и такие структурные изменения как уменьшение объема серого вещества и увеличение объема спинномозговой жидкости».

Недавние исследования также показывают, что космический полет может повлиять на зрение. Астронавтов обследовали с помощью МРТ-сканеров, и обнаружили, что две трети из обследованных имели отклонения от нормы. «У некоторых астронавтов кроме небольших изменений зрения были обнаружены отек зрительного нерва, изменения сетчатки, деформация глазного яблока. Возможно, из-за повышения внутричерепного давления».



Искусственная гравитация на космических станциях и межпланетных кораблях – решение, уклониться от исполнения которого пока невозможно.



Возможные конфигурации орбитальных станций и межпланетных кораблей с искусственной гравитацией.



Центрифуга с коротким радиусом считалась панацеей для борьбы с последствиями невесомости при длительных полетах. Однако, опыты в Германии показали, что бесполезны центрифуги с коротким радиусом, позволяющие периодически создавать гравитационную нагрузку на астронавтов, – необходима постоянная гравитационная нагрузка. **«Прерывистое воздействие искусственной гравитации в центрифуге оказалось неэффективным для смягчения когнитивных изменений, связанных с условиями микрогравитации».**



Долгое пребывание в космосе чревато атрофией сердца.

К такому выводу пришли специалисты из Техасского университета в Далласе, сравнившие последствия для сердца астронавта Скотта Келли, который провел целый год в космосе, и пловца Бенуа Леконта, который специализируется на марафонских дистанциях. За 159 дней Леконт преодолел 2821 километр. До 17 часов в день он проводил в горизонтальном положении.

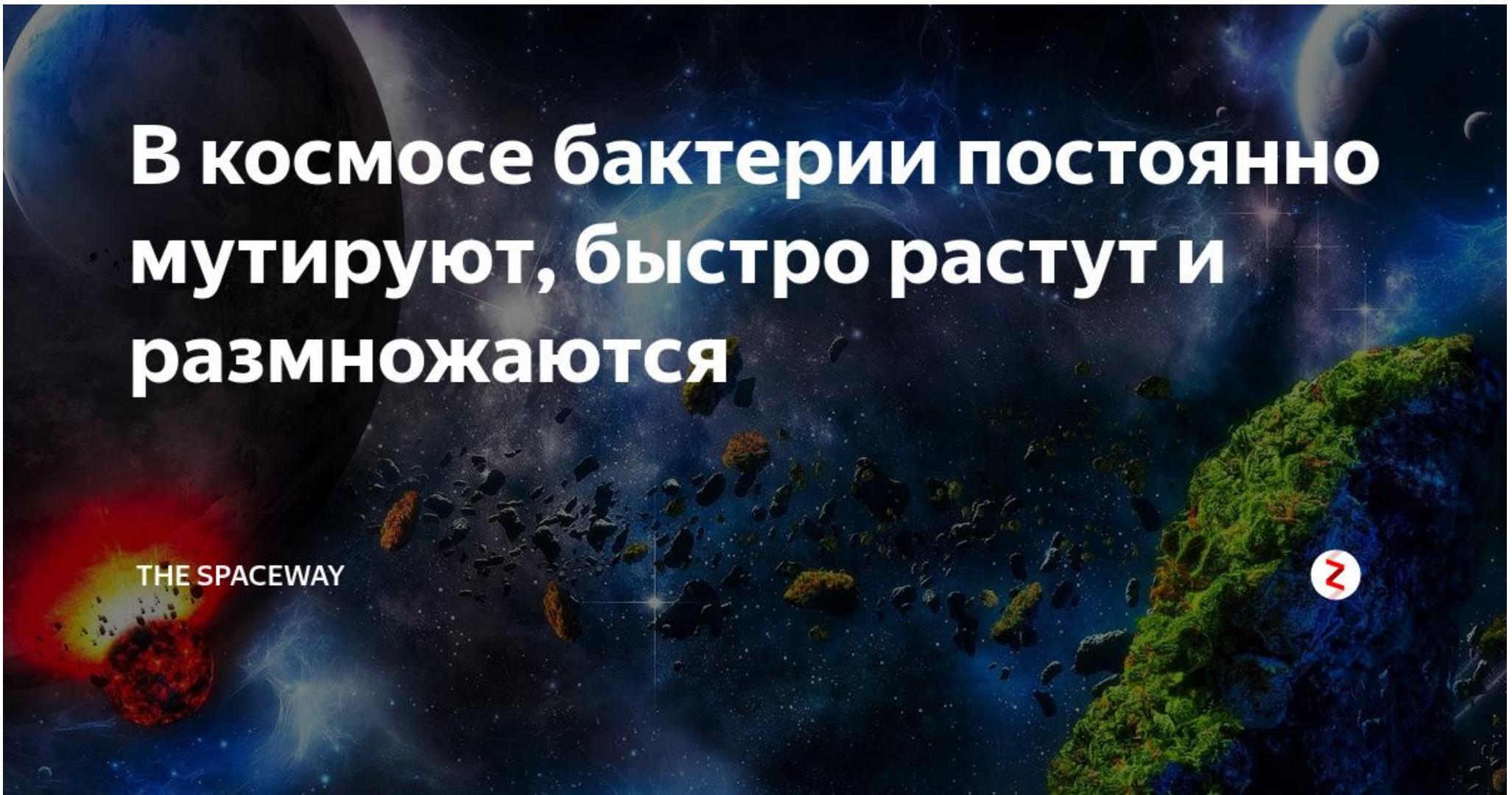
В обоих случаях сниженная по сравнению с обычной силой тяжести нагрузка на сердце вела к его атрофии. В обоих случаях физических упражнений было недостаточно, чтобы помешать таким изменениям.

Усиленный режим тренировок не помог астронавту Келли избежать частичной сердечной дистрофии. В случае с Леконтом исследователи вначале полагали, что физические нагрузки, которые испытывал пловец, находясь в воде, окажутся достаточными, чтобы не привести к потере массы сердечной ткани. Однако, у пловца наступила дистрофия сердца.

Расширение предсердий, может привести к мерцательной аритмии. Это, в свою очередь, может не только помешать физическим упражнениям, но и привести к инсульту.

Генерал-майор авиации космонавт Анатолий Филипченко заявил: «**Полет в космос – это далеко не прогулка! Самая коварная нагрузка – это невесомость. Она действует на организм так, что сердце атрофируется, а за ним все остальное волнообразно следует. Щадить человека надо!**».

В космосе бактерии постоянно мутируют, быстро растут и размножаются



«Для бактерий ситуация складывается иначе [чем для людей]. Как отметили американские ученые, **пребывание в условиях микрогравитации вызвало у бактерий стойкие физиологические и генетические изменения**, улучшающие их способность к росту и формированию колоний».

Это значит, что **если на лунной базе будут блоки вне зон с искусственной гравитацией, то в этих блоках с лунным уровнем тяготения будут размножаться и далее распространяться по всей базе опасные бактерии-мутанты**. Если же на всей лунной станции создать искусственную гравитацию земного уровня, то не останется зон, где активно мутируют бактерии.



Без искусственной гравитации колонизация Луны не состоится – есть риск того, что бактерии-мутанты «съедят» колонистов. Причина мутаций даже не повышенная радиация. Причина – капиллярные эффекты, действующие иначе в условиях пониженного тяготения и невесомости.



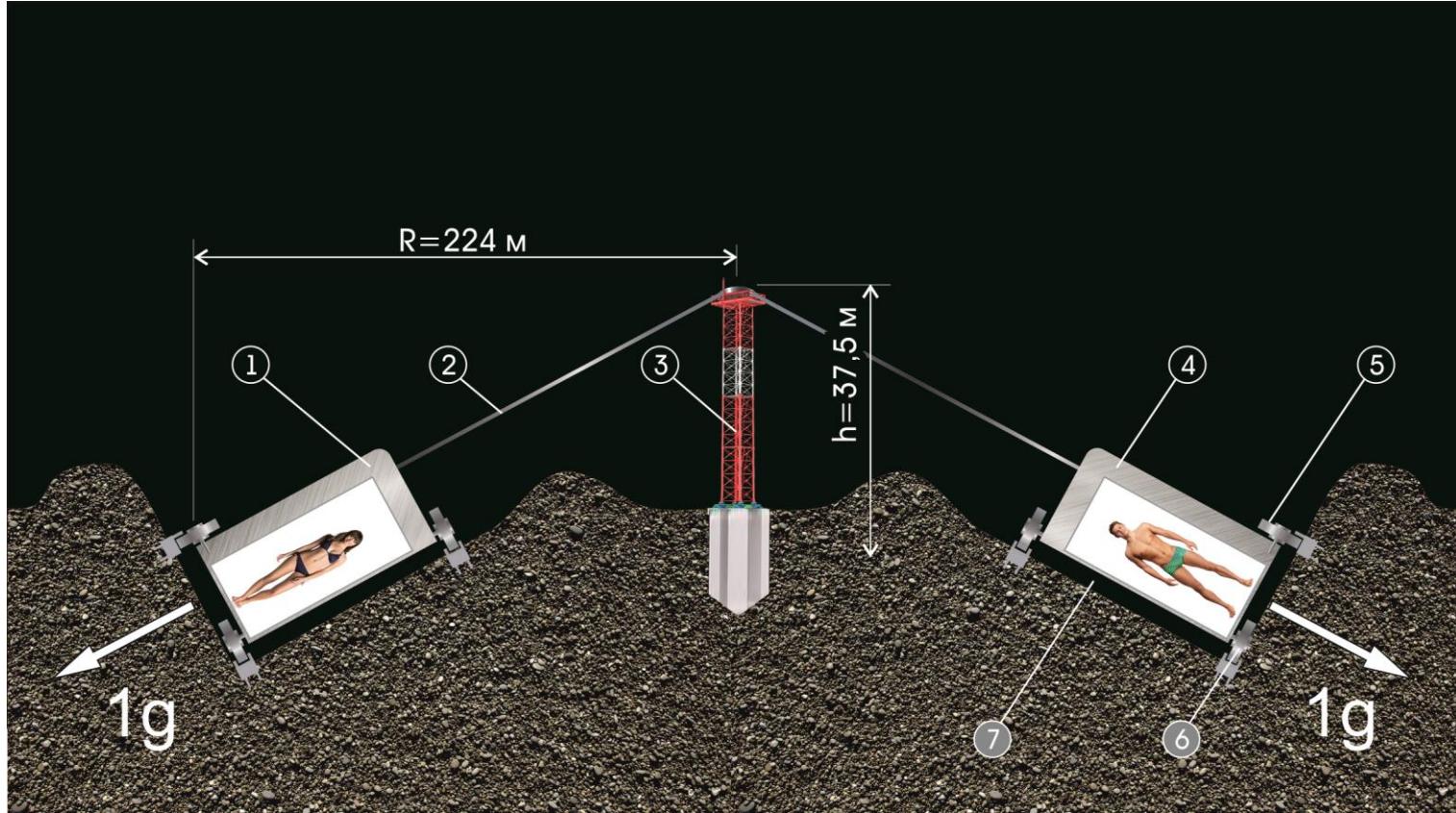
Предположение о безопасности гипогравитации оказались неверными. Малая тяжесть Луны столь же опасна, как и полная невесомость. При низкой гравитации теряется костная масса, ослабевают мышцы, возникают проблемы с лёгкими и сердцем, необратимо ухудшается зрение, ослабевает иммунитет. «Вероятнее всего, люди, которые проведут на Луне несколько лет, смогут адаптироваться, но на Землю они никогда не вернутся: их кости станут слишком слабыми. Это билет в один конец», – считает академик Лев Зелёный.

Тема противодействия вредному влиянию низкой гравитации Луны рассматривалась на 43-х ежегодных академических «Королёвских чтениях» по космонавтике в МГТУ имени Баумана в 2019 г. Европейское космическое агентство (ESA) также исследует последствия воздействия на людей низкой гравитации. Таким образом, **возникает вопрос о необходимости создания на лунной базе привычного земного уровня тяжести**.

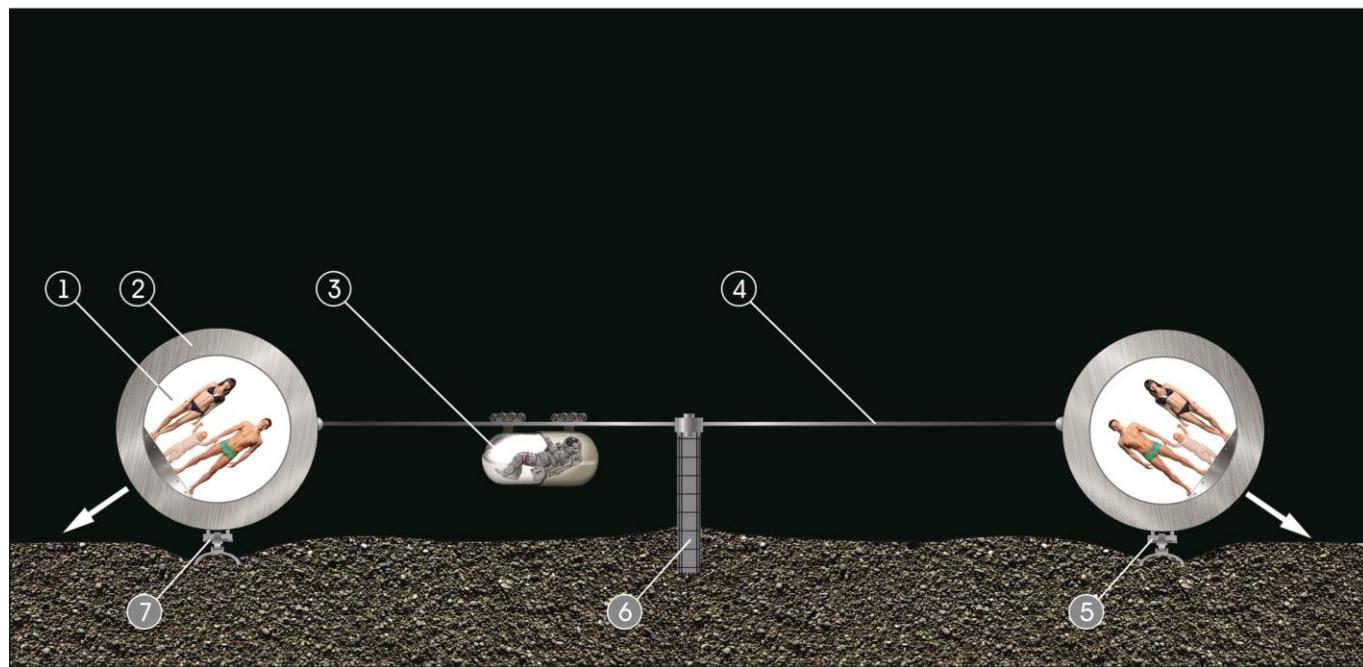
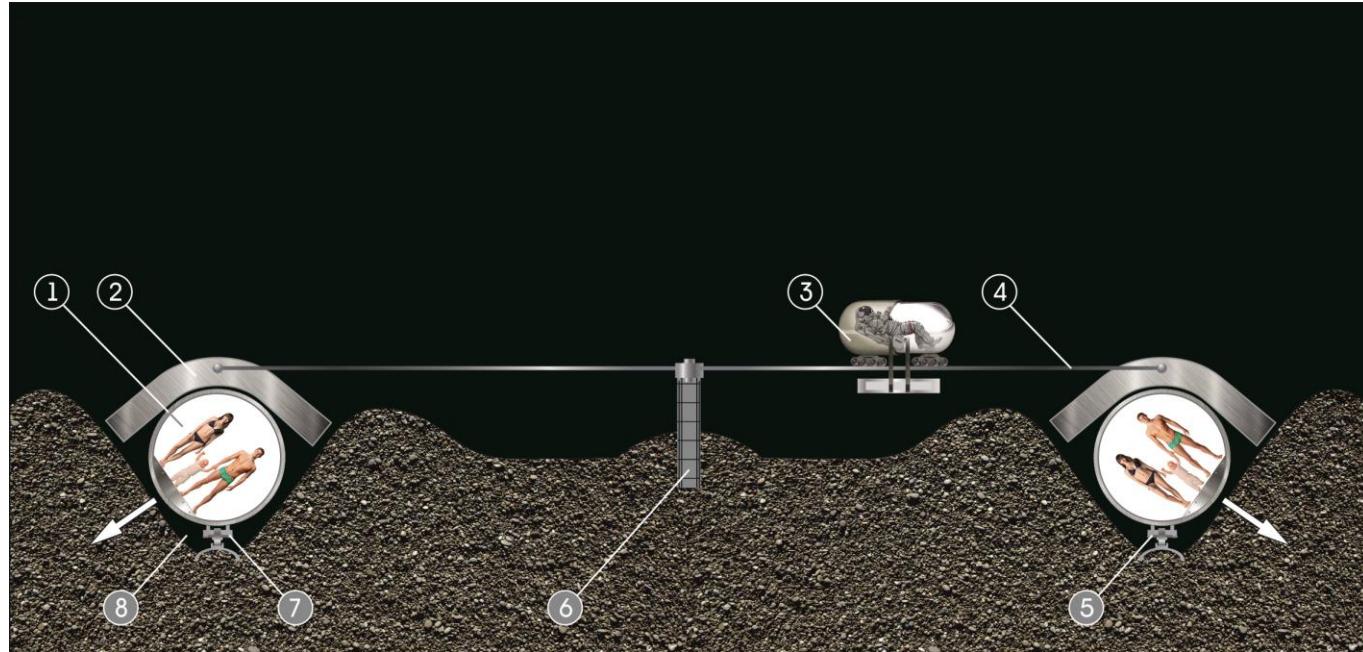


Идея применения искусственной гравитации на Луне, Марсе и других небесных телах далеко не очевидна. Вот важное обобщение понимания ситуации с искусственной гравитацией в общественном создании, данное нашим коллегой. **«У меня была такая формулировка: в космосе легко решить проблему искусственной тяжести с помощью вращающихся конструкций, но трудно решить проблему радиации, а на Луне легко решить проблему радиации, но трудно – проблему искусственной тяжести. Нет места, где обе проблемы решаются легко».**

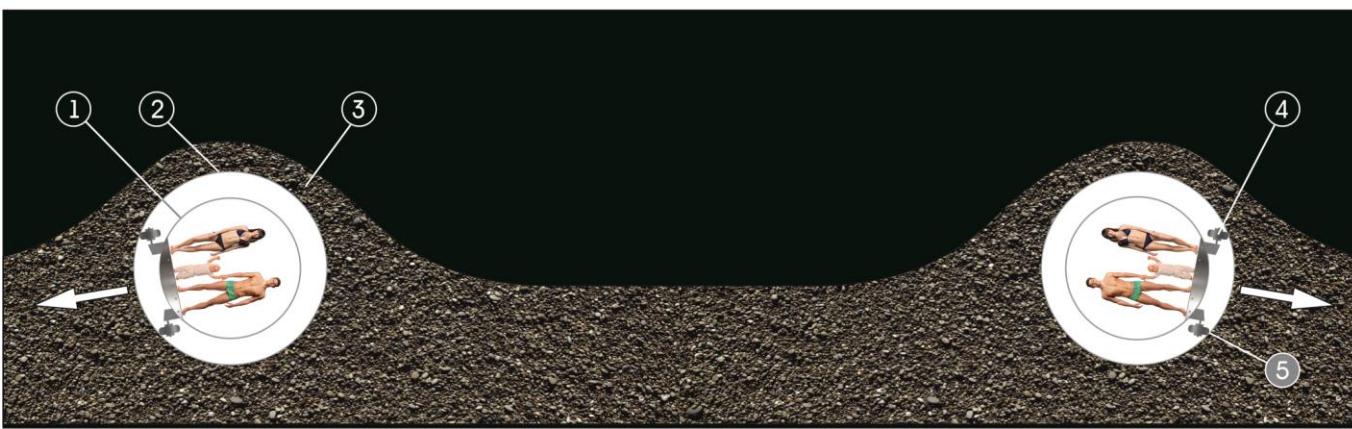
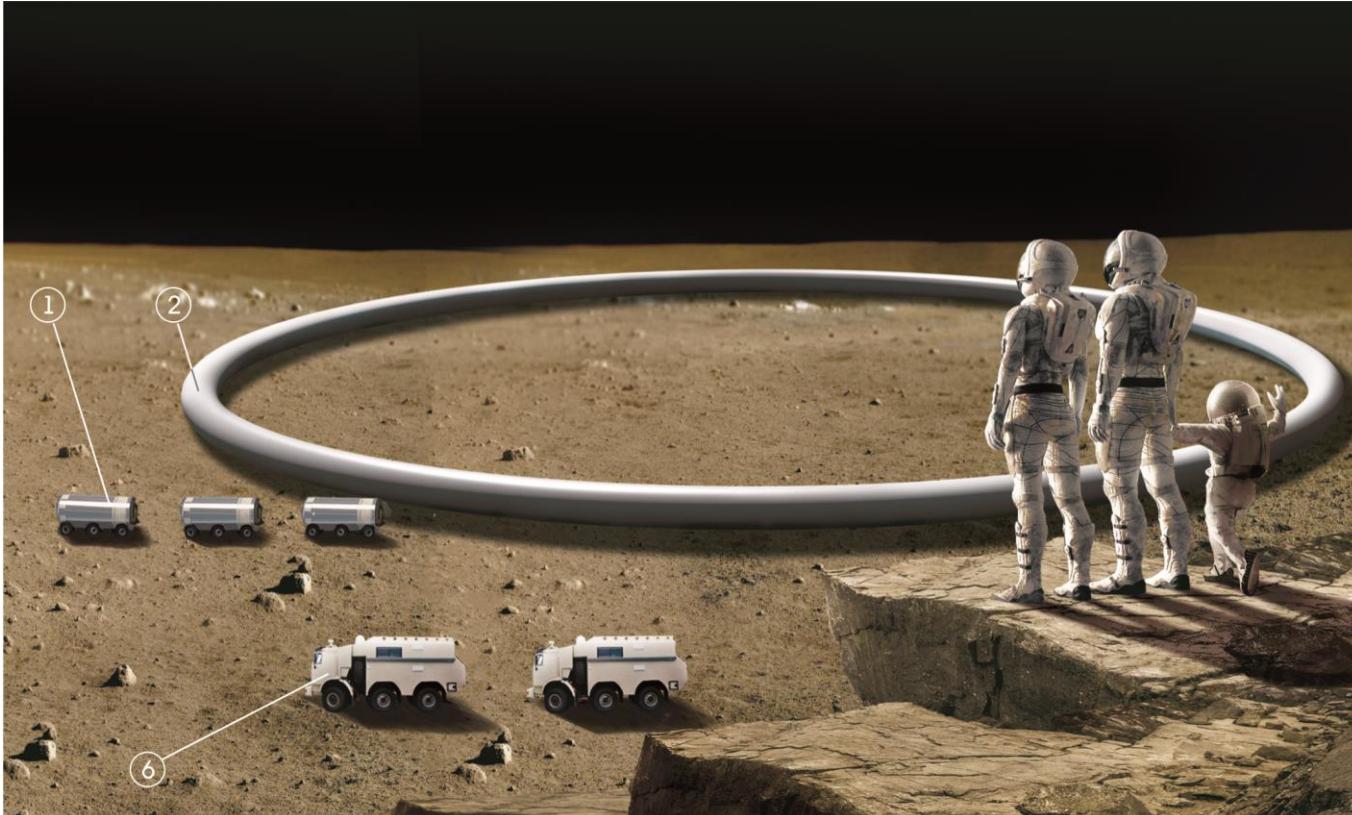
И в самом деле, в пространстве окружающем орбитальную станцию нет доступных источников вещества для создания защиты от радиации, а на лунной базе нет возможности разместить жилые и рабочие модули в центрифуге, создающей ускорение «тяготения» величиной в 1 g.



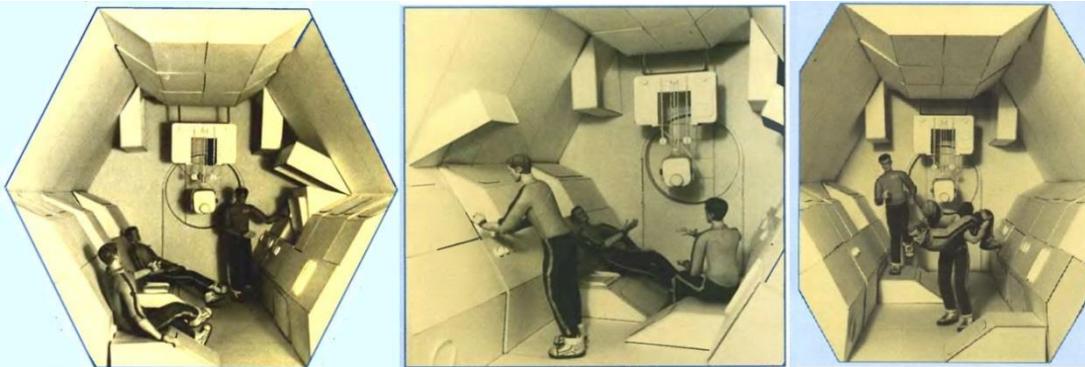
Вместе с тем, препятствия для создания обитаемых отсеков лунной базы преодолимы. Возможно множество вариантов систем, создающих искусственную гравитацию. Необходимо только выбрать оптимальное решение, так как из-за проблемы большой массы радиационной защиты, не все возможные решения могут быть использованы.



Тросовые варианты центрифуги с антирадиационной защитой оказываются тяжеловесными и ненадежными.



Самый оптимальный вариант базы-центрифуги – проект GraviCity. Один – три жилых модуля и недорогая легкая и надежная пневматическая путевая структура в форме кольцевой трассы под защитным слоем реголита.



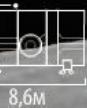
ПРОЕКТ ЛУННОЙ БАЗЫ «ЗВЕЗДА» 1964 - 1974 ГГ.

Порядок посадки базы

Каждый блок доставляется
отдельно. Изначально
длина составляет 4,5 м



▶ После приземления
подается воздух и
блок под давлением
раздвигается до 8,6 м



▶ Блоки стыкуются между собой,
превращаясь в жилой комплекс на
колесах

Внутренняя конструкция

Стенки из специальных сплавов для
метеорной, тепловой и
ультрафиолетовой защиты



Жилые помещения
Камбуз со столовой
Медпункт и спортзал
Научная лаборатория

Мастерская

Хранилище

Командный пункт

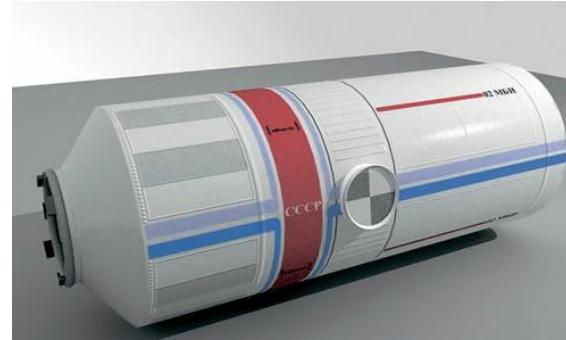
~77,5 м

8,6 м

9 типовых блоков для разного
назначения

База рассчитана на 9-12 человек
Полная масса «поезда» состав-
ляла около 18 тонн

Типовые жилые модули лунной базы – аналоги подвижных жилых модулей GraviCity.



Система Грависити (GraviCity) 2013

- Мнение медиков: Слабая гравитация Луны также вредна для здоровья, как и невесомость.
- Грависити – база с искусственной гравитацией.
- GraviCity – низкая масса, надежная защита от космической радиации и метеоритов, комфортные условия жизни.
- GraviCity – место реабилитации астронавтов без возвращения на Землю после дальних экспедиций по Луне и/или работы на лунной поверхности.
- В GraviCity системе возможно наращивание числа жилых модулей, вплоть до полного заполнения кольцевой трубы.
- GraviCity в 10 раз сокращает транспортные расходы на замену астронавтов на лунной базе.
- Годовой экономический эффект – от 230 млн. долл. на каждого астронавта (расчет на основе смет НАСА).
- Жилые модули GraviCity предлагаются сдавать в аренду. Дополнительно предлагается сдавать в лизинг персонал, постоянно проживающий в GraviCity, как операторов роверов и передвижных манипуляторов.

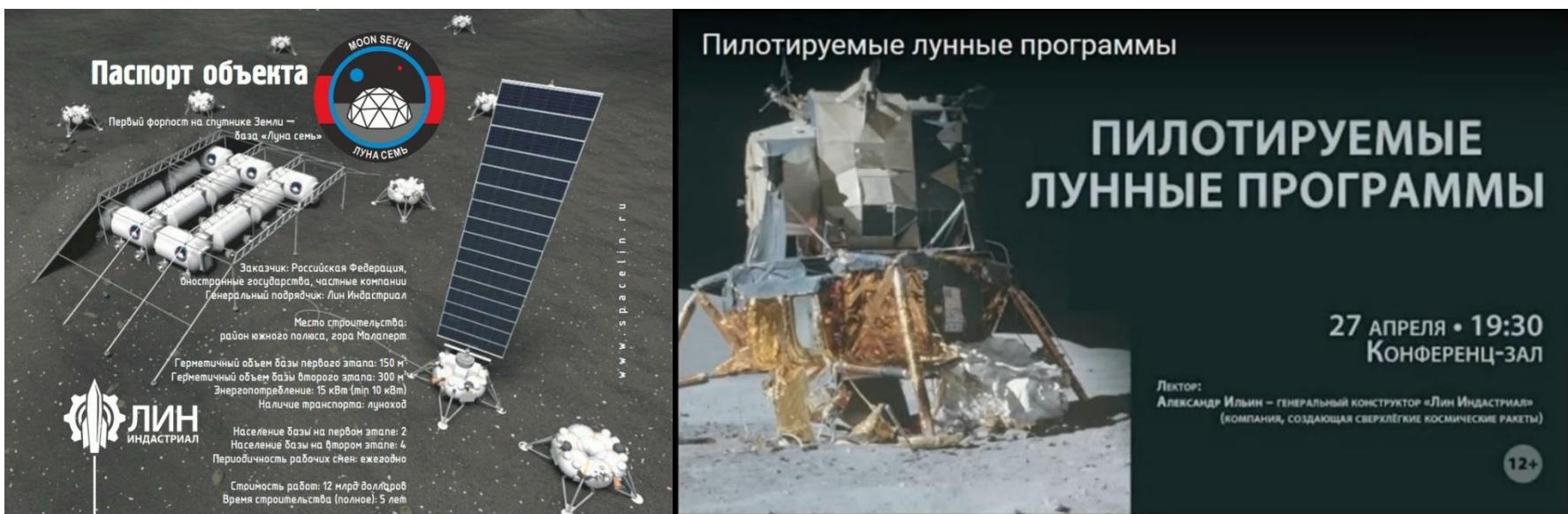
Видео «Принципиальная схема работы GraviCity»: <https://youtu.be/vcQJY5C8Rsc>

Таблица 1. Параметры лунной базы-центрифуги.

Величина g	Скорость вагонов (км/ч)	Радиус (м)	Длина трека (м)	Масса трека (т)
1	100	80	500	6
1	120	115	723	8,7
1	141	159	1000	12
1	168	224	1400	16,8

<https://avanta-moon.space/project-details/>

Далее разработка проекта GraviCity продолжилась под эгидой негосударственного инициативного проекта «ЛУНА СЕМЬ»



Проект «Луна Семь». 2014 год.
Видео: <https://youtu.be/ca2PHdRfImw>



Возможно, не все смогут жить на лунной базе с искусственной гравитацией. Нахождение в движущихся жилых модулях некоторыми людьми отождествляется с утомительным путешествием в поезде, в тесноте и вынужденном бездействии.



Однако, очевидно, что не все согласятся с таким суждением – все зависит от компании и возможности проявлять активность.



Сравнение с поездом советских времен не вполне корректно. Космонавтам в жилых модулях могут быть созданы очень комфортные условия.



Жилые модули Грависити должны иметь конфигурацию салонов самолетов для VIP-персон или других видов транспорта для комфортных путешествий, к примеру, мобильных домов, кемперов.



Самый дорогой в мире дом на колесах EleMMent Palazzo стоимостью 3 миллиона долларов в базовой комплектации от австрийской компании Marchi Mobile.

В 12-метровом двухэтажном жилом фургоне на первом этаже разместилась просторная раздвижная гостиная с кухней, санузлом, барной стойкой, 40-дюймовой "плазмой" и камином. На втором – роскошная спальня с отдельной ванной.



Дизайнеры, использовали и учли не только самые современные достижения в автомобилестроении, но также и особенности авиа-, авто- и яхтенного спорта. Этот мобильный дом может достигать скорости 150 км в час, достаточной для движения по кольцевой трассе большого радиуса для создания «центробежной силы», равной силе земного тяготения.



Вид жилых помещений в мобильном доме.

Жилые капсулы Грависити могут использоваться двояким образом:

- для реабилитации членов экспедиций, проведших большое время в путешествии по лунной поверхности, чтобы исключить возвращение на Землю для реабилитации;
- для постоянного проживания операторов, дистанционно управляющих машинами на лунной поверхности: исследовательскими луноходами и мобильными горнодобывающими и строительными агрегатами, что выгодно благодаря короткому времени прохождения сигналов, по сравнению с управлением с Земли.



Спальный отсек.

Важный факт – в США 12000 человек изъявили желание работать на лунной базе на официальном конкурсе. Также как были выявлены желающие переселиться в колонии на Марсе без возвращения, так же и в нашем случае могут быть найдены люди готовы жить на базе 2-3 года и больше.



Система Грависити может быть построена и испытана на Земле. Вот действующий аналог опытной системы. Однако, при таких малых габаритах силы Кориолиса действуют негативно на состояние людей. Нужны другие размеры – с радиусом от 80 м. Затраты на НИОКР низкие – в диапазоне \$500 тыс. – \$1 млн. **Коммерциализация – фитнес-центр и медицинские услуги.**

Вideo: <https://youtu.be/nIX6vfnhjy4?t=99>



Путевая структура Грависити дешевле вакуумного трубопровода транспортной системы Hyperloop. В Грависити трубопровод подвергается избыточному давлению изнутри, а Hyperloop снаружи. В результате толщина стенки трубы у Грависити – 0,1 мм, а у Hyperloop – 20-25 мм. Масса материалов трубопровода в 200-250 меньше, что радикально сокращает затраты на НИОКР.



Монтаж кольцевой трубы Грависити на Луне может быть осуществлен за одну операцию при использовании сплава титана и никеля, имеющего эффект памяти формы – восстановления формы после деформации. Готовую конструкцию Грависити прессуют на Земле в компактный объем, удобный для доставки на Луну, а на Луне нагревают, после выгрузки на специальные салазки на выровненной поверхности. Конструкция разворачивается, скользя по поверхности благодаря салазкам, и принимает рабочий вид. После помещения в трубопровод жилого модуля наполняется гелием (0,05-0,1 bar) и засыпается реголитом. Возможны и другие простые способы быстрой установки Грависити, за счет использования трубы из высокопрочных синтетических материалов, которая доставляется в сложенном виде и разворачивается при накачивании газа.



Тонкостенные гофрированные трубы из листовой стали выдерживают большие нагрузки. Вместе с тем, для кольцевой трассы Грависити не обязательно использовать гофрированные конструкции. Необходимая жесткость трассы-трубы создается избыточным внутренним давлением (0,1-0,05 bar). Материалоемкость пневматической путевой структуры в 2 раза меньше трассы на основе гофрированной трубы. Снижение массы важно на первом этапе строительства базы-центрифуги для сокращения массы элементов, доставляемых с Земли. В последующем, части Грависити будут производиться из завозного сырья, что дешевле в 5-7 раз при использовании 3D-печати и технологии доставки MoonTrap, а затем из металлов, извлекаемых из местных ресурсов.



Жилые модули Грависити движутся со стандартной скоростью автотранспорта 100-120 км/ч.

Скорость вагонов Hyperloop – около 1200 км/ч.
Это тоже существенно влияет на стоимость.

Основные данные

Габариты вагона – 3,38 x 3,38 x 8 м

Масса вагона – 2000 кг

Диаметр путепровода – 4,77 м

Толщина стенки путепровода – 0,1 мм

Материал путепровода – сталь листовая

Удельный расход стали – 12 кг/м. п.

Насыпь – 70 м. куб./м. п.

Цена стали – 3 долл./кг

Таблица 1. Параметры лунной базы-центрифуги.

Величина g	Скорость вагонов (км/ч)	Радиус (м)	Длина трека (м)	Масса трека (т)
1	100	80	500	6
1	120	115	723	8,7
1	141	159	1000	12
1	168	224	1400	16,8

Таблица 2. Параметры наземной центрифуги-фитнеса.

Величина g	Скорость вагонов (км/ч)	Радиус (м)	Длина трека (м)	Масса трека (т)
1,5	106	80	500	6
2	132	80	500	6
1,5	150	159	1000	12
2	187	159	1000	12

Если рассчитать стоимость полета на Луну и обратно одного человека по условиям контракта NASA с Lockheed Martin (5 первых полетов), то средняя стоимость составит **230** млн. долл. на одного астронавта. Контракт определяет стоимость трех миссий в \$2,7 млрд. и ещё двух — в \$1,9 млрд.

Всего планируется доставить на Луну и вернуть обратно от 24 до 48 человек. При увеличении безопасного пребывания на базе до полутора — двух лет количество полетов можно сократить в несколько раз с соответствующим экономическим эффектом.

После первой высадки в 2024 году новые экспедиции к Луне будут отправляться примерно один раз в год. Ранние миссии будут краткосрочными — на неделю — две, но по мере расширения лагеря миссии пребывания на Луне будут продлены до двух месяцев для двух человек или до месяца для четырёх. Остальное время лунная база будет пустая. Таким образом, увеличение длительности вахты 4-х человек с 1 месяца до 12-36 месяцев пропорционально увеличивает эффективность использования базы экипажем.

В пересчете на сутки схема НАСА (4 чел на 1 мес.) дает 7,67 млн. долл. – стоимость одного дня пребывания по транспортной составляющей. Вахта продолжительностью 12-36 месяцев снизит стоимость одного дня от 639 тыс. долл./сут. до 213 тыс. долл./сут., то есть экономия более 7 млн. долл. за каждые сутки.

Экспедиция на Марс требует до 2,5 лет «заключения» в замкнутом пространстве, поэтому двух- и трехгодичные вахты на Луне могут считать нормальными по продолжительности.

Выводы

Медицинские и экономические обстоятельства настоятельно требуют отказа от типовых планов лунной базы без искусственной гравитации.

Планы базы, предусматривающие для создания искусственной гравитации использование центрифуг с коротким радиусом, также должны быть отклонены в пользу центрифуг с большим радиусом и большим жилым объемом, позволяющим экипажу функционировать без ограничений положения тела и подвижности.

Бактериальная опасность требует исключить или минимизировать в составе жилых помещений базы зоны, в которых отсутствует искусственная гравитация и потому могут происходить мутации микроорганизмов.

База-центрифуга должна иметь резервирование. Дополнительно к центрифуге с металлическим корпусом радиусом 115-224 м (с массой 9-17 т) необходимо установить 1-2 резервные облегченные центрифуги из композиционных материалов радиусом 80 м (с массой 2 т) с уменьшенным диаметром вагонов и трубопровода. Резервные центрифуги обеспечат искусственную гравитацию экипажу базы при ремонтных работах на основной центрифуге.

Исключение коротких вахт длительностью один месяц и переход к вахтам от одного года до трех лет требует рационализации поставок воды, кислорода, продовольствия и расходных материалов в целях применения технологий, многократно сокращающих стоимость поставок. Такие технологии имеются, например, технология *MoonTrap*, и на их развитие следует направить необходимые ресурсы.

Литература

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

URL: [https://www.vesvks.ru/public/wysiwyg/files/VKS-3\(100\)-2019-web-36-43.pdf](https://www.vesvks.ru/public/wysiwyg/files/VKS-3(100)-2019-web-36-43.pdf)

2. Майборода А.О. Искусственная гравитация для постоянной лунной базы // Энергия: экономика, техника, экологи» 2020. №4. С.15-19.

URL: https://www.jiht.ru/science/temp/15-19%20%D0%9C%D0%B0%D0%B9%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0_compressed.pdf?fbclid=IwAR1djnGJGjEO6kKjUfvNZIf_1Tx8zqCkMd0fosequ5N9Fkzvhg-cIgmUeNI

3. Майборода А.О. Перспективные способы снабжения лунной базы // Энергия: экономика, техника, экологи» 2019. №12. С.2-6.

URL: <https://mayboroda.space/wp-content/uploads/2021/03/Energy-2019-12-str2-6-Mayboroda.pdf>

4. Пол Ринкон. Долгое пребывание в космосе чревато атрофией сердца // BBC. 30 марта 2021.

URL: <https://www.bbc.com/russian/features-56572052>

5. Екатерина Рошина. Центрифуга не спасла людей от когнитивных изменений в условиях микрогравитации // N+1. 19 марта 2021.

URL: https://nplus1.ru/news/2021/03/19/artificial-gravity-and-cognitive-effects?fbclid=IwAR30nSpe4l9bQTaiTq5onGhi4tJJ_3AtzPUGT2yUaqd8LaXjihzoJAqGves