

Логоватовская Елена Степановна (Ростов-на-Дону). Советник РААСН, доцент. Профессор ИААМ. Руководитель ООО «Творческая мастерская Логоватовской Е.С.». Эл. почта: logovatovskaja@rambler.ru.

Logovatovskaya Elena S. (Rostov-on-Don). Associate Professor, Advisor of RAACS. Professor at IAAM. Head of ООО "Creative Workshop of Logovatovskaya E.S.". Email: logovatovskaja@rambler.ru.

Архитектура и космос. Обитаемая база на Луне

В данной статье рассматривается создание плацдарма для экспансии человека в космическое пространство. В представленном прогностическом проекте отражена будущая жизнь человека в космосе. Обитаемая лунная база создаёт новую космическую среду, связанную с решением проблем адаптации и жизни человека на других планетах солнечной системы, в новой окружающей среде. Стратегия развития человечества – это научно-технический прогресс, который ведёт к уничтожению цивилизации. Альтернативный вариант по сохранению земной цивилизации разработан и представлен в невероятно смелой работе, выполненной в Академии архитектуры и искусств Южного федерального университета. В статье использованы материалы выпускной квалификационной работы: «Обитаемая база на Луне» (направление: «специалитет»; руководитель проекта: профессор Логоватовская Е.С., дипломник Ливенцев А.В.).

Ключевые слова: космос, луна, цивилизация, космическая среда, обитаемая база, научно-технический прогресс.

Architecture and Space. Habitable Base on the Moon

The article discusses the creation of a springboard for human expansion into outer space. The presented prognostic project reflects the future life of a person in space. The habitable lunar base creates a new space environment associated with solving the problems of adaptation and human life on other planets of the Solar System, in a new environment. The strategy of human development is scientific and technological progress that leads to the destruction of civilization. An alternative option for the preservation of the Earth's civilization was developed and presented in an incredibly bold work performed at the Academy of Architecture and Arts of Southern Federal University. The article uses the materials of the final qualification work: "Habitable base on the Moon" ("specialty" degree; project manager: Professor Logovatovskaya E.S., graduate student: Liventsev A.V.)

Keywords: space, moon, civilization, space environment, habitable base, scientific and technological progress.

В настоящее время мировая научная общественность начинает приходить к выводу, что единственным вариантом спасения человечества и живой природы Земли от угрозы надвигающихся кризисов и катаклизмов – это колонизация космического пространства.

Наиболее реальной для ближайших лет программой является освоение Луны и создание обитаемой лунной базы как стартовой площадки для освоения и полёта на другие планеты Солнечной системы. Такой подход обусловлен несколькими аргументами. Космическая орбитальная и лунная энергетика не имеют ограничений, накладываемых наличием атмосферы, помимо искусственных источников дают возможность использовать экологически чистую солнечную энергию, определяемую мощностью нашего светила. Луна обладает ресурсами полезных ископаемых, достаточными для создания и функционирования инфраструктуры, способной обеспечить проживание колонистов на Луне.

Анализ образцов лунной породы показал большое содержание в них кислорода, кремния, железа, титана, алюминия. Практически весь спектр элементов таблицы Менделеева, имеющийся в наличии на Земле, присутствует и на Луне, но в разных количественных пропорциях. Без учёта проблем технологии самые общие подсчёты показывают, что лунный карьер с размерами 100×100×10 куб. м обеспечит получение 40 тыс. тонн кремния, от 80 до 90 тыс. тонн кислорода, от 15 до 30 тыс. тонн алюминия, от 5 до 25 тыс. тонн железа, 9 тыс. тонн титана, 0,8 кг гелия, а также магния, кальция, хрома и других химических элементов. Лунный грунт можно использовать как сырьё для получения различных строительных материалов: бетона, стекла, керамики, волокнистых и кристаллических композитных материалов. Это – приблизительные представления о возможностях использования ресурсов Луны. Вынос с Земли энергоёмких производств, например металлургии, строительных материалов и других, позволит существенно уменьшить экологическую нагрузку на земную природную среду. Дальнейшее освоение космического пространства невозможно осуществить, опираясь только на промышленные мощности, создаваемые на Земле. Так, например для выведения с Земли на стационарную орбиту и к планетам Солнечной системы полезного груза суммарной массой в миллион тонн потребуется израсходовать порядка 300 млн тонн топлива и 2,5

млн тонн конструкций и материалов. При этом в земную атмосферу поступит около 40 млн тонн загрязняющих химических соединений, что может кардинально повлиять на состояние защитного озонового слоя Земли, уже сейчас находящегося под угрозой наступления «парникового эффекта». В случае запуска космических аппаратов с Луны вес необходимого топлива, конструкций и материалов составит примерно 90 млн тонн. Выведение полезного груза даже на низкие околоземные орбиты как экологически, так и энергетически более выгодно производить с Луны при наличии на ней производства ракетного топлива. Луна является уникальным научным полигоном для земной цивилизации. Освоение Луны и создание на Луне колоний-поселений (баз) – одна из актуальных задач нашего времени. По мнению учёных, мы уже опаздываем с их созданием и Человечеству придется приложить немало совместных усилий, чтобы наверстать упущенное время.

В качестве объекта, обладающего уникальными природными условиями, Луна может рассматриваться как плацдарм для решения многих задач и направлений, таких как:

1) освоение лунных ресурсов для создания внеземного промышленного производства по получению на Луне топливных компонентов и расходных материалов для системы транспортных средств в околоземном пространстве;

2) использование Луны как платформы для уникальных научных исследований и наблюдений;

3) использование Луны как экспериментальной базы для отработки космических технических средств, включая промышленное производство;

4) использование Луны как ключевого транспортного узла для дальних межпланетных космических полётов.

С развитием космонавтики и освоением космоса человеком зарождается новая область архитектуры – космическая архитектура. Являясь составной частью архитектуры экстремальных сред, космическая архитектура должна быть выделена в самостоятельный предмет исследования. В космической среде человек сталкивается с рядом проблем, не имеющих

места в земных условиях: радиация, полное или частичное отсутствие гравитации, бомбардировка астероидами планет Солнечной системы, психоэмоциональные проблемы и другое. Космическую архитектуру можно условно разделить на «планетарную» и «орбитальную». Эти составляющие имеют ярко выраженные отличия и требуют различных подходов в решении задач, связанных с проектированием космических объектов. Технические приёмы «земной» архитектуры и опыт человечества, накопленный в процессе решения сложных задач в экстремальных земных условиях, позволят проектировать объекты как на планетах солнечной системы, так и в «свободном» космосе. Органичное развитие космической архитектуры, основанное на использовании собственных материалов, добытых на планетах Солнечной системы и их спутниках, а также на астероидах и кометах, может послужить началом сохранения экологического баланса без повреждения окружающей среды. Обращаясь к современным зарубежным и отечественным аналогам, следует заметить, что в подавляющем большинстве авторы космической архитектуры предлагают проекты, основанные только на чисто технических решениях, обусловленных в основном эксплуатационно-техническими требованиями. Проект-концепции предлагают на более поздних этапах развития космической архитектуры уделять больше внимания художественному образу без должной проработки технической части проекта. В настоящее время необходимо объединить оба подхода при проектировании космической архитектуры и создать проект-концепцию, отвечающую в равной степени архитектурным, техническим, эстетическим и биопсихологическим требованиям. Только таким образом, учитывая современные тенденции в развитии космической архитектуры, можно подойти к реальному проектированию обитаемых планетарных баз. Представленный прогностический проект: «Обитаемая база на Луне» (рис. 1) соответствует всем вышеперечисленным требованиям. Проанализируем факторы, влияющие на создание обитаемых объектов на Луне.

Основные принципы освоения Луны

- На Луне создаётся биосфера, которая основана на воде, углеводородах и продуктах их взаимодействия.

- Основой развития биосферы на Луне является солнечная энергетика, использующая уникальные свойства Луны: высокую плотность солнечного излучения (1380 Вт/кв. м) в дневное время и низкую температуру окружающей среды в солнечной тени (100 °K).

- Освоение Луны реализуется поэтапно. Каждый из этапов должен учитывать достигнутый за предшествующий период уровень решения проблем и опыт проведения работ, основанных на технической составляющей и возможности её совершенствования и дальнейшего развития.

- Луна (спутник Земли) считается центральным звеном лунно-земной космической инфраструктуры; её ресурсы рассматриваются как основной источник материального обеспечения этой инфраструктуры. В качестве главных объ-



Рис. 1. Общий вид обитаемой базы, расположенной в лавовой трубке. Автор 3D-модели А.В. Ливенцев

ектов инфраструктуры предлагаются: лунная база, радио-обсерватория с радиотелескопом, окологрунтовая и околоземная базовые станции, имеющие широко развитое производство на лунном сырье и одновременно выполняющие роль транзитных транспортных узлов в контексте освоения планет Солнечной системы.

Выбор места лунной базы определяется несколькими основными факторами: район базирования должен удовлетворять требованиям содержания сырьевых ресурсов и наименьших затрат при строительстве базы. Координаты расположения базы должны обеспечивать минимум затрат на транспортные космические операции с учётом требований безопасности персонала базы и создания инфраструктуры базы для удобного функционирования всех объектов обитаемой базы. Рельеф в районе размещения всех объектов базы должен иметь профиль, безопасный для полёта и посадки космических кораблей. Также предстоит изучить и освоить лавовые трубки, так как миллионы лет назад лава пульсировала под и над поверхностью Луны. В настоящее время эти лавовые трубки не представляют большой опасности. Диаметр таких тоннелей предположительно может достигать 1000 метров (а длина – до 5000 метров, по подсчетам исследователей). Этим требованиям отвечают расположенная на южном полюсе гора Маллаперт в зоне видимой стороны Луны. Размещение базы на видимой стороне Луны даёт возможность постоянной прямой радио- и оптической связи с Землёй, позволяет обеспечить транспортные связи между лунной базой и окологрунтовой орбитальной станцией с минимальными топливно-энергетическими затратами. Лунный рельеф в районе южного полюса (район кратера Шеклтон) состоит преимущественно из кратеров. В качестве типовой формы кратеров приняты чашеобразные, форма которых ассоциируется со сферическим сегментом. Таких кратеров на Луне около 95% от общего числа. Это даёт возможность выбора кратеров с требуемыми размерами и взаимным расположением в случае размещения в них структурных комплексов производственной лунной базы. Очевидно, что это представление накладывает также свой отпечаток на разработку транспортных «налунных» средств, обеспечивающих перевозки между структурными комплексами базы, и отдаёт предпочтение применению эстакадных или монорельсовых путей сообщения.

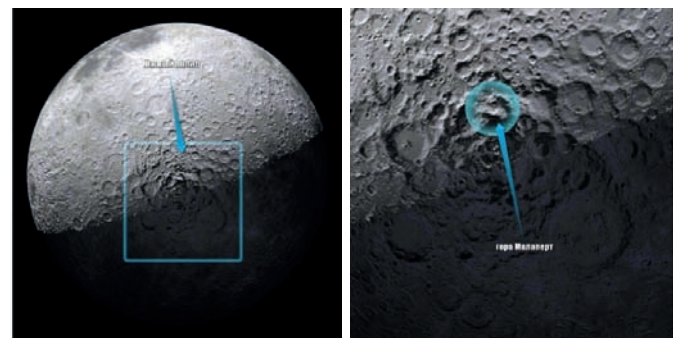
Помимо кратеров, в числе элементов лунного рельефа, представляющих интерес при выборе места для размещения базы, следует отметить естественные полости в виде «лавовых трубок». Это высохшие каналы лавовых рек в «подлунном» пространстве. Протяжённость этих трубок составляет от десятков до сотен метров, а толщина покрывающего слоя составляет предположительно более 10 м. Следовательно, внутренние пространства этих лавовых трубок представляют собой среду, которая естественным образом защищена от опасностей проникающей радиации и метеоритных и астероидных бомбардировок, которым подвергается Луна.

Внутри трубок преобладает постоянная, относительно благоприятная температура (–20 °С). Всё это предоставляет предпочтительные условия для жизнедеятельности человека, а также для осуществления производственной деятельности. Значительные функциональные, технические и экономические выгоды могли бы быть получены при сооружении лунных баз внутри лавовых трубок (см. рис. 1). Это требует данных обследования и идентификации косвенных признаков, например, наличия обрушенного верхнего покрытия, конкретного знания геометрии лавовых трубок и прочностного состояния покрывающего их слоя, что возможно лишь при обследовании конкретной лавовой трубки, предназначенной для размещения обитаемой лунной базы.

Участок проектируемого объекта расположен на южном полюсе Луны, вблизи горы Маллаперт (рис. 2 а) и кратера Шеклтон (рис. 2 б).

Проектируемый объект имеет линейную протяжённую структуру, соединяющим звеном которой является линия вакуумного метро, благодаря которому по станции передвигаются как люди, так и грузы. Протяжённость линии метро – 12065 м. На всём этом промежутке располагаются структурные объекты базы, такие как космопорт, станция энергоснабжения, жилой комплекс, промышленная зона и резервный источник энергии, атомный реактор (рис. 3 а). Часть объектов базы расположена на поверхности луны (космопорт). А часть – под её поверхностью в лавовых трубках (рис. 3 б). Такое расположение обусловлено тем, что поверхность Луны подвергается солнечному излучению, поскольку на Луне нет атмосферы, такие излучения опасны для человека, следовательно объекты постоянного пребывания колонистов, такие как жилая и промышленная зоны, были запроектированы под поверхностью Луны в лавовой трубке (см. рис. 3 б).

Структура базы включает зоны, распределённые по функциональным признакам и расположенные на расстоянии 3–5 км одна от другой с целью обеспечения безопасности эксплуатации лунной базы. Каждая зона включает в себя один или несколько объектов, содержащих сооружения и технические средства для жизнеобеспечения базы (рис. 4). База рассчитана на 94 человека постоянного пребывания и 38 человек – временного. Все зоны соединены между



а) кратер Шеклтон; б) гора Маллаперт
 Рис. 2. Участок проектирования (источник: съёмка спутника LRO, NASA /GPS): а) кратер Шеклтон; б) гора Маллаперт

собой внутрибазовыми транспортными магистралями, выполненными в виде канатных или монорельсовых дорог. В состав энергозоны условно включены системы спутников энергоснабжения, обеспечивающие базу энергией во время лунной ночи, которая длится 14 суток. Освещение жилой зоны базы обеспечивается во время лунной ночи с помощью электричества, получаемого от энергоустановки, находящейся в энергетической зоне базы, и за счёт получения энергии от системы спутников, летающих по орбите вокруг Луны и преобразующих энергию Солнца в энергию СВЧ-диапазона или лазерного моно-излучения. Днём используется система зеркальных отражателей, направляющих поток солнечных лучей на линзы Френеля, расположенные по кромке одной из террас. Линзы Френеля фокусируют поток в приёмную камеру светопроводов, разводящих свет по потребителям системы жизнеобеспечения. Характерной особенностью лунной производственной базы на этапе развёрнутого производства является полная автономность системы жизнеобеспечения и независимость от транспортных связей с Землёй.

Размещение жилой зоны в кратере даёт возможность использовать рельеф для обеспечения защиты от радиации и

метеоритов. Эвакуация, при необходимости, людей из лавовой трубки представляется более сложной, чем из объектов, размещённых на поверхности Луны. Кроме того, расположение жилого комплекса в кратере создаёт психологическое ощущение защищённости пространства обитания по сравнению с планировкой на плоской поверхности Луны, и в то же время в этом случае нет ощущения полной замкнутости, как это возможно в случае использования лавовой трубки.

Основные объекты базы:

1. Жилая зона (жилые модули на 120 человек, оранжерея и птицеферма);
2. Научная зона (лабораторные модули с оборудованием, хранилища, блок жизнеобеспечения, жилые модули);
3. Станции кольцевой магистрали;
4. Зона космопорта: стартово-посадочный объект; стартово-посадочная площадка; ангары базирования передвижной техники: защитные навесы космических кораблей и аппаратов; автозаправщики; помещения общего назначения, блок жизнеобеспечения и агрегаты систем обслуживания (радиаторы, отражатели и т.д.), санблок, пищеблок, адаптивно-реабилитационный центр, медблок, спортблок, центральный пульт контроля и управления системами жилой зоны, мастерские технического обслуживания, служба связи с Землёй и внутрибазовой связи, погрузочно-разгрузочных агрегатов, станций проверки аппаратуры; передвижного стартового стола-отражателя реактивной струи;
5. Центр управления полётами (ЦУП), включает в себя следующие объекты и сооружения: радиомаяки для посадки космических кораблей и аппаратов, (зп) станция телеметрической связи слежения за параметрами орбит и командных радиолиний космических кораблей, транспортных автоматических аппаратов, спутников системы энергоснабжения, лунной орбитальной станции (ЛОС); блок жизнеобеспечения;
6. Техническая зона: завод для сборки, ремонта, транспортировки аппаратуры, агрегатов и модулей технических средств орбитального производства (включая элементы больших конструкций), транспортной космической системы и системы спутников энергоснабжения лунной базы, средства обслуживания производства, (зп) блок жизнеобеспечения, склад экспортируемой продукции и ракетного топлива;

7. Промышленная зона:

а) завод переработки сырья и получения жидких и твёрдых продуктов, материалов (кислорода, воды, метана, водорода, гелия-3 и др.), металлов (железа, алюминия, титана и др.), а также производство цемента, стекла, керамики, композитных материалов, элементов электроники, чистых и редких на Земле веществ, медикаментов;

б) завод по производству аппаратуры, оборудования, агрегатов и модулей, строительных деталей и блоков (производство по ремонту и эксплуатации технических средств базы), объекты обеспечения производства, блок управления производством, блок жизнеобеспечения, хранилища и склады продуктов производства; агрегаты тепло- и энергоснабжения и т.д.;

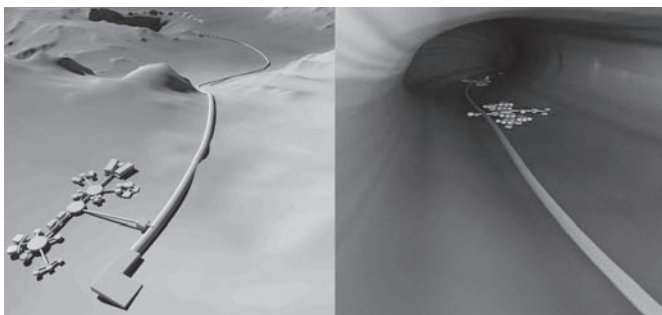


Рис. 3. Объекты лунной базы а) общий вид объектов базы; б) объекты базы, расположенные в лавовой трубке. Автор 3D-модели А.В. Ливенцев

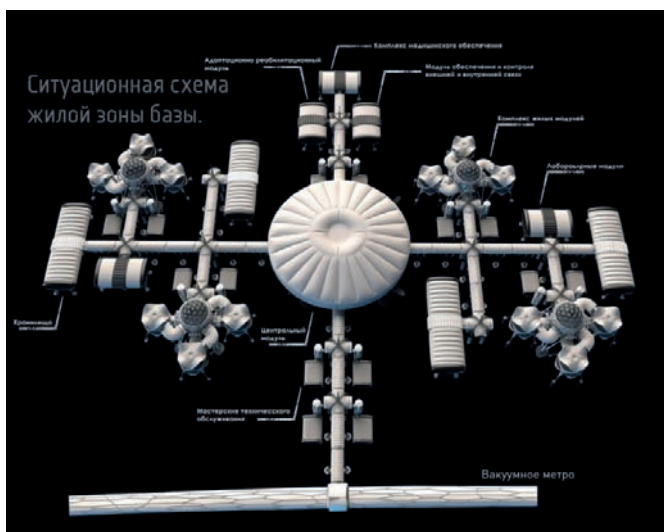


Рис. 4. Структурная схема лунной базы. Автор 3D-модели А.В. Ливенцев

8) энергозона: энергоустановка с приёмной антенной (солнечные батареи, концентраторы излучения и др.), преобразователь энергии (накопители энергии), ЛЭП с агрегатами распределителями, Лунная орбитальная система энергоснабжения (ЛОСЭ);

9) зона добычи полезных ископаемых: карьер, автоматические технические средства (автоматические добывающие агрегаты, средства обеспечения работы автоматов), транспортная магистраль, сервисные станции.

Конструктивная схема: в центральном общественном модуле применяется каркасно-оболочковая система, которая сочетает наружную несущую оболочку модуля с внутренним каркасом (при работе оболочки на все виды нагрузок и воздействий, а каркаса – преимущественно на вертикальные нагрузки). Жилой объём лунной базы состоит из модулей различного назначения, объединённых между собой переходными тоннелями. Несущей конструкцией жилых и рабочих модулей является жёсткий замкнутый контур с натянутыми вантами внутри. Такие конструкции и расчёт волн контура с шагом вант были разработаны Макаровым Сергеем Григорьевичем специально для применения их в космосе (рис. 5).

Несущей конструкцией центрального общественного модуля является пространственная стержневая система из алюминия в виде трапецевидной поверхности вращения (рис. 6). Пространственная жёсткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой стержней оболочки постоянно поддерживающегося изнутри давления. Система лифтовых шахт, пандусов и опирающихся на них жёстких дисков перекрытия создаёт дополнительную устойчивость конструкции. Общественный центральный модуль представляет собой один цельный объём трапецевидной поверхности вращения диаметром 138 800 мм. К нему в уровне второго этажа примыкают четыре тоннеля, которые образуют транспортный узел.

Креплением всех типов модулей к магматическим породам служат анкерные винтовые сваи, выполненные из титана. Учитывая сейсмику луны, было принято решение гидравлического крепления модулей к сваям, так как гравитация на луне в шесть раз меньше земной, толчки будут ощутимее, а гидравлические стойки будут гасить удары, тем самым создавая повседневные комфортные условия для работы для человека.

В проекте центрального общественного модуля предусмотрены четыре лифтовые шахты, двенадцать лифтов пассажирских и два грузовых лифта. Все горизонтальные и вертикальные связи между этажами снабжены пандусами (следует отметить отсутствие лестниц). Пандусы выполняются из жёстких направляющих элементов с композитным наполнителем и крепятся к ядрам жёсткости в виде лифтовых шахт. Практически все конструктивные элементы сооружений жилого комплекса выполнены из материалов собственного производства, работающего на местном лунном сырье. В 1960–1970 годы миссии по исследованию Луны проводились

США и СССР, и полёты на Луну с высадкой астронавтов на лунную поверхность стала реальностью (12 астронавтов США побывали на Луне).

В настоящее время в освоение Луны включились такие страны, как Япония, Китай, Индия и другие. NASA, «Роскосмос» разрабатывают программы по привлечению частных компаний для реализации строительства лунных баз и колонизации Луны.

Библиографический список:

1. Возможности создания обитаемой базы на Луне [Электронный ресурс] / В.Д. Бурков, В.П. Васильев., В.А. Есаков, С.В. Перминов, Д.Г. Щукин, Ю.С. Капранов, Г.Э. Куфаль, А.Б. Бурлаков // Лесной вестник. – 2015. – № 1. – С. 97–102. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-sozdaniya-obitaemoy-issledovatel'skoy-bazy-na-lune> (дата обращения 27.02.2022).
2. Шарп, М. Человек в космосе [Электронный ресурс] / М. Шарп. – М. : Мир. – 200 с. – Режим доступа: http://epizodspace.airbase.ru/bibl/sharp/sharp01/text/50.htm?reload_coolmenus (дата обращения 30.01.2022).
3. Тернистый путь замкнутых биологических систем жизнеобеспечения // Конт. – Режим доступа: https://cont.ws/post/81979/?_utl_t=vk (дата обращения 16.01.2022).

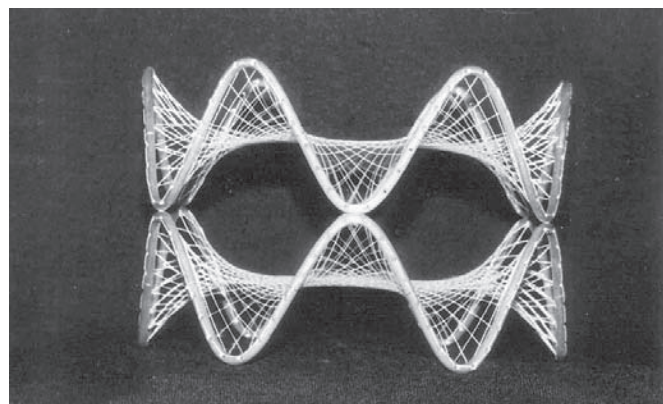


Рис. 5. Пространственная стержневая система. Автор 3D-модели С.Г. Макаров

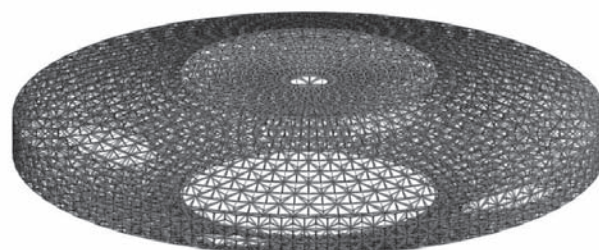


Рис. 6. Пространственная стержневая структура центрального общественного модуля. Авторы 3D-модели А.В. Ливенцев, Л.А. Золотарёва

4. Self-healing material could plug holes in space ships // New Atlas. Режим доступа: <http://www.gizmag.com/self-healing-material-space-ships/39120/> (дата обращения 27.01.2022)

5. Надувной модуль МКС // Хабр. – Режим доступа: <https://geektimes.ru/post/274090/> (дата обращения 21.01.2022) модули

6. Пюрвеев, Д.Б. Космопланетарная интеграция планеты / Д.Б. Пюрвеев, В.П. Казначеев, А.Н. Дмитриев. – М. : Мироздание, 2009. – 292 с.

7. Белл, Дж. Великий космос/ Дж. Белл. – М. : Лаборатория знаний, 2015. – 543 с.

8. Циолковский, К.Э. Промышленное освоение космоса / К.Э. Циолковский. – М. : Машиностроение, 1989. – 280 с.

9. Канчели, В.Н. Строительные пространственные конструкции / В.Н.Канчели – М. : АСВ, 2007. – 120 с.

References

1. Burkov V.D., Vasil'ev V.P., Esakov V.A., Perminov S.V., Shchukin D.G., Kapranov Yu.S., Kufal'G.E., Burlakov A.B. *Vozможности sozdaniya obitaemoi bazy na Lune* [Possibilities of creating a habitable base on the Moon]. In: *Lesnoi vestnik*, 2015, no. 1, pp. 97–102. Access mode: <http://cyberleninka.ru/article/n/vozможности-sozdaniya-obitaemoi-issledovatel'skoy-bazy-na-lune> (Accessed 27.02.2022). (In Russ., abstr. In Engl.)

2. Sharp M. *Chelovek v kosmose* [Man in space]. Moscow, Mir Publ., 200 p. harp. – Access mode: http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/sharp/sharp01/text/50.htm?reload_coolmenu (Accessed 30.01.2022).

3. *Ternistyj put' zamknytykh biologicheskikh sistem zhizneobespecheniya* [The thorny path of closed biological life support systems. Kont. Access mode: https://cont.ws/post/81979/?_utl_t=vk (Accessed 16.01.2022). (In Russ.)

4. Self-healing material could plug holes in space ships. New Atlas. Access mode: <http://www.gizmag.com/self-healing-material-space-ships/39120/> (Accessed 27.01.2022). (In Engl.)

5. *Naduvnoi modul' MKS* [ISS inflatable module]. Habr. Access mode: <https://geektimes.ru/post/274090/> (Accessed 21.01.2022) (In Russ.)

6. Pyureev D.B., Kaznacheev V.P., Dmitriev A.N. *Kosmoplanetarnaya integratsiya planet* [Cosmoplanetary integration of the planet]. Moscow, Mirozdanie Publ., 2009. – 292 s. (In Russ.)

7. Bell Dzh. *Velikij kosmos* [Great space]. Moscow, Laboratoriya znaniy Publ., 2015, 543 p.

8. Tsiolkovskij K.E. *Promyshlennoe osvoenie kosmosa* [Industrial space exploration]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989, 280 s.

9. Kancheli V.N. *Stroitel'nye prostranstvennye konstruksii*. Moscow, ASV Publ., 2007, 120 p.