

КОСМИЧЕСКИЕ ПОСЕЛЕНИЯ

(реферат статьи О'Нейла, "Наука и жизнь", №5, 1976 г.)

Из трудов Константина Эдуардовича Циолковского и других пионеров и пропагандистов идей покорения космоса пришли к нам первые проекты и расчеты космических поселений, смелые планы расселения человечества в космосе. Огромные практические успехи современной космической техники позволяют по-новому оценить масштабы и сроки освоения космоса, довести до инженерных расчетов некоторые проекты, еще вчера казавшиеся делом очень далекого будущего. В одном из таких проектов сделана попытка доказать, что уже в течение ближайших двух десятилетий люди могут начать строительство самообеспечиваемых поселений в космосе, решая этим многие проблемы Земли.

В последнее время во многих зарубежных журналах появились публикации, посвященные некоторым новым проектам создания космических поселений. Об этих проектах подробно рассказывал на встречах с советскими учеными известный американский астрофизик профессор Ф. Дайсон во время своего недавнего визита в нашу страну. Автор проектов, профессор физики Принстонского университета Герард О'Нейл сам -рассказал о них в подробной статье «Колонизация космоса» в журнале «Физике тудей». В этой статье, подробный реферат которой публикуется ниже, автор не только рассказал о сущности своих идей, но и привел фактические данные и расчеты, которые должны показать, что уже в недалеком будущем можно начать строительство крупных космических поселений.

Свои взгляды на будущее космических поселений профессор Г. О'Нейл выразил в довольно сложном графике, приведенном в статье. График, в частности, показывает, как в ближайшие десятилетия будет меняться (разумеется, по оценкам автора) население Земли — с 4 млрд. (1975 г.) оно вырастает до 16 млрд. (2050 г.), а затем за счет расселения людей в космосе резко падает—примерно до 2 млрд. (2085 г.). В дальнейшем этот уровень уже почти не меняется. При этом, естественно, число жителей в космических поселениях резко возрастает и к 2060 г. проходит отметку 16 млрд. Одна из кривых графика показывает, как меняются заселенные площади космических колоний: к 2150 году, по мнению автора, они в 5 раз превысят площадь всей суши Земли.

В начале статьи автор пишет:

«Хотя мысли о миграции в космос стары, однако в этой области лишь сравнительно недавно появилась основа для серьезных расчетов. Но и при этом инертность ума — представление о планетах, как о единственных местах поселения,— часто заманивает в ловушку почти каждого, кто рассматривает эту проблему. Некоторое время назад я услышал, что пионер космоса Константин Циолковский в своих мечтах о будущем был одним из первых, кто избежал этой инертности.

Случайно и вначале почти как шутку я начал делать некоторые подсчеты, прежде всего видя в них любопытные примеры для студентов во вводном курсе физики. Постепенно расчеты стали более серьезными и аргументированными, после чего последовали годы безуспешных попыток их публикации.

Положительная реакция студентов поощрила меня к продолжению исследований».

Дальнейшие многолетние исследования в итоге привели автора к таким выводам:

— мы можем колонизировать космос и сделать это без какого-либо расхищения или повреждения Земли, без какого-либо загрязнения окружающей среды;

- если работа над этим начнется скоро, то менее чем через столетие можно удалить от хрупкой биосферы Земли почти всю нашу индустрию;
- целесообразность этого вида миграции людей и индустрии в космос будет поддерживаться возможностью самообеспечения и высокой степенью независимости новых космических поселений;
- благодаря новому виду поселений окончательный предел роста человечества увеличится как минимум до 80—100 миллиардов человек.

Создание новых искусственных поселений возможно даже при существующей технологии, новые методы, которые могут понадобиться, не выходят за пределы знаний сегодняшнего дня. Ключи к решению проблемы — отношение к области вне Земли не как к пустоте, а как к среде, богатой материей и энергией. Для того, чтобы нормально жить, человеку необходимы энергия, воздух, вода, поверхность и гравитация. В космосе солнечной энергии много, использовать ее удобно. Луна и астероидный пояс дадут необходимые материалы, а вращательным ускорением можно заменить гравитацию Земли. Предполагается, что в достаточно короткое время экспоненциальный рост новых поселений может достигнуть такого уровня, когда эти космические колонии начнут приносить большую выгоду всему человечеству.

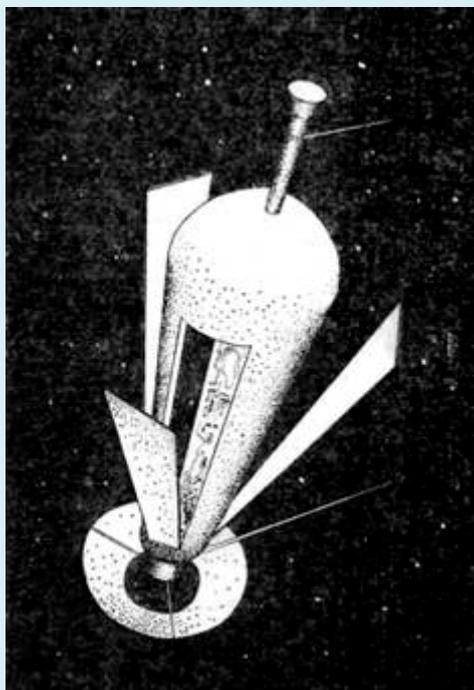
Конструкция каждого космического поселения почти полностью определяется при выполнении следующих условий: нормальная гравитация, привычный цикл дня и ночи, естественный солнечный свет, обстановка, близкая к земной, эффективное использование солнечной энергии. Конструкция, удовлетворяющая всем условиям,—это пара цилиндров, имеющих примерно 1—6 км в диаметре и длиной 3—30 км. в этих цилиндрических парах внутренняя поверхность отдана паркам и лесам с озерами, реками, травой, деревьями, животными и птицами. Эти ландшафтные участки — «долины» чередуются с участками окон — «соляриями». Цилиндр довольно быстро вращается вокруг своей оси, и благодаря этому на его внутренней поверхности действует необходимая сила тяжести. Автор провел расчеты для четырех моделей космического поселения-цилиндра, некоторые результаты расчетов приведены в таблице.

Модель	Длина	Радиус	Период вращения	Население	Возможная дата постройки
1	1 км	200 м	21 сек.	10 тыс. чел.	1988 г.
2	3,2 км	640 м	36 сек.	100-200 тыс. чел.	1996 г.
3	10 км	2 км	63 сек.	0,2-2 млн. чел.	2002 г.
4	32 км	3,2 км	114 сек.	0,2-20 млн. чел.	2008 г.

Поскольку Луна является богатым источником титана и алюминия, то в отдаленном будущем, вероятно, именно эти металлы будут широко использоваться для строительства поселений. Пока же в конструкции цилиндра предусматривается использование стальных канатов. Они образуют продольные лонжероны, передающие атмосферное давление (разумеется, внутреннее) концевым заглушкам, и окружные пояса, нагрузка на «их складывается из атмосферного давления и общего веса (он связан с вращением цилиндров) грунта, лонжеронов и самих поясов. В зонах окон стальные канаты связаны в виде редкой сетки и почти невидимы. Сами окна составлены из небольших стеклянных или пластиковых панелей.

Размеры цилиндров главным образом ограничены тем, что с их увеличением несущие канаты составляют все большую часть общей массы. Автор подробно рассматривает цилиндр диаметром 6,4 км, отмечая: цифра эта выбрана довольно

произвольно. Экономика заставляет думать о меньшем диаметре, желание создать ландшафт, максимально напоминающий земной, требует большего диаметра. Независимо от размера, кажущаяся гравитация, состав воздуха и атмосферное давление должны быть такими же, как и на Земле на уровне моря.



Так можно представить себе одно из цилиндрических поселений в момент, когда открытые зеркала имитируют привычный земной день. В некоторых случаях на рисунках можно увидеть солнечную электростанцию, расположенную на торце цилиндра, обращенном к Солнцу, а иногда с противоположной стороны, как, например, на данном рисунке.

Основные зеркала сделаны из алюминиевой фольги, поворот этих зеркал изменяет угол, под которым солнечный свет падает на «долины». Так регулируется суточный цикл, продолжительность дня и ночи. Благодаря тому, что торец цилиндра ориентирован на Солнце, оно кажется неподвижным, как и на Земле. Гелиостанции, в которые входят параболические зеркала, бойлерные трубы и обычные паротурбинные электрические генераторы, могут легко обеспечить космическое поселение достаточной энергией. Мощность в расчете на одного человека может быть в 10 раз больше, чем сейчас в индустриальных районах (10 кВт). Приняв удельную мощность 120 кВт на человека, автор отмечает: для поселения на 100 000 человек нужны энергоустановки мощностью в 12 000 мегаватт; солнечная мощность, падающая на концевую заглушку цилиндра, составляет 36 000 МВт; этого достаточно, если термическая эффективность энергетических установок составит 33%.

Помещения защищены от космических лучей глубиной атмосферы и самой несущей структурой. Метеоритные повреждения не должны представлять серьезную опасность. Большинство метеоритов, судя по всему, представляют собой сгустки пыли, возможно, окаймленные замерзшими газами. Типичный метеорит больше напоминает снежный ком, чем камень.

Богатая научная информация, полученная в последнее время, позволяет считать, что средний интервал попадания метеорита массой в 1 т в большое космическое поселение общей площадью в 1 000 квадратных километров составляет около миллиона лет.

Даже такой удар произведет только местное повреждение, если конструкция хорошо спроектирована. Для 100-граммовых метеоритов средний интервал попаданий составляет около трех лет. Наибольшее внимания в проектах окон и методах ремонта

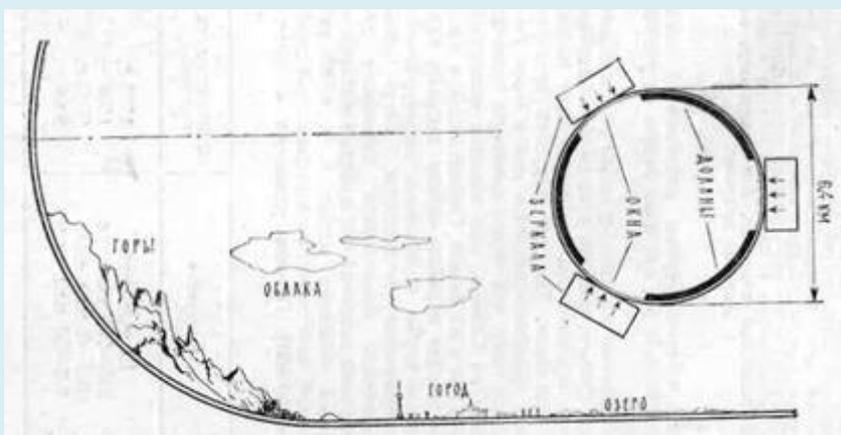
требуют к себе метеориты весом от 1 до 10 граммов. Метеоритная опасность связана в основном с мелким регулярным ремонтом, а не с катастрофами.

Чтобы иметь искусственную гравитацию, цилиндры нужно закрутить. Для раскручивания в течение трех лет необходима постоянная мощность примерно в 360 МВт, то есть 3% от общей мощности энергосистемы цилиндра. После раскручивания нужна уже совсем небольшая мощность для компенсации потерь на трение и для регулировки положения оси вращения.

Фазовое различие сезонов в обоих цилиндрах допускает «сезонный контрапункт»; середину лета в одном цилиндре, в то время как в другом — середина зимы. Переход между двумя цилиндрами, то есть путешествие из зимы в лето, не требует затрат мощности и занимает только девять минут по времени. Цилиндры разнесены друг от друга на 90 км, и весьма простой летательный аппарат может в заданный момент времени отстыковаться от внешней поверхности одного цилиндра, двигаться в свободном полете со скоростью 180 м/сек (550 км/час) и пристыковаться к другому цилиндру.

Путешествие между поселениями можно осуществить с помощью простых летательных аппаратов без двигателя, ускоряемых в вычисленном направлении стационарным электромотором с помощью каната. Такой кабельный летательный аппарат не потребует специально обученного экипажа и должен быть недорогим. Скорость летательного аппарата позволит путешествовать в пространстве с общим населением, большим, чем на Земле, в течение нескольких часов полетного времени. Если поселения отстоят одно от другого на 200 км, то размер комплекса цилиндров с общим населением 4 миллиарда человек равен 29 000 км. Для летательного аппарата с ускорением в 1 g и временем полета на такое расстояние в 7 часов длина пути ускорения — 66 км. Летательный аппарат может быть гораздо просторнее и комфортабельнее, чем типичный коммерческий лайнер.

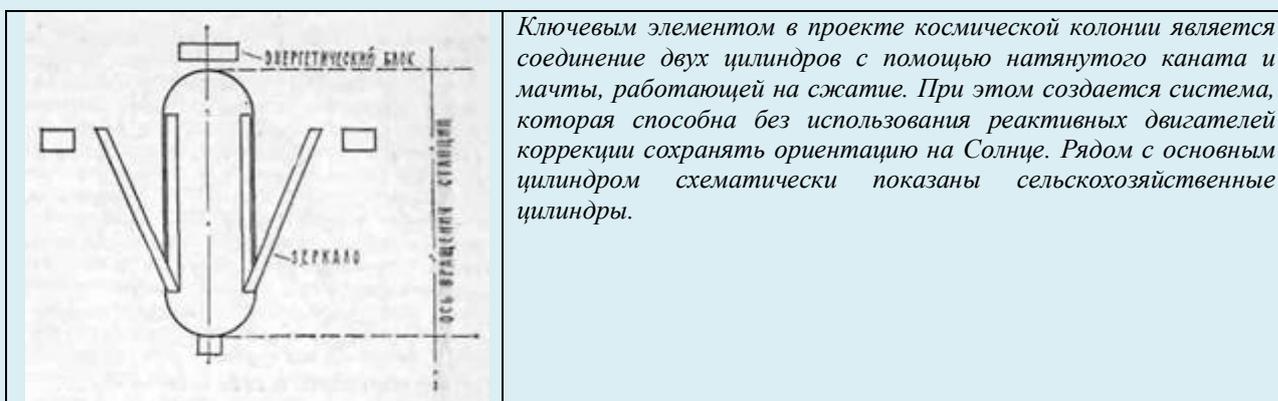
Изобилие пищи и электрической энергии, погода с регулируемым климатом и температурой обеспечат условия жизни в колониях гораздо более приятные, чем в большинстве мест на Земле. Для перемещения внутри цилиндра длиной в 30 км вполне достаточно велосипедов и малоскоростных электрических транспортных средств.



Внутри цилиндра создается подобие привычного нам ландшафта. На этом рисунке для иллюстрации размеров модели 4 художник изобразил внутри цилиндра Останкинскую телевизионную башню. На верхнем рисунке — разрез цилиндра.

В поселениях возможны как все земные, так и новые виды спорта. Например, катание на лыжах, парусный спорт, альпинизм и планеризм. Будучи любителем планеризма, автор проверил вопрос термических неоднородностей: пилоты планеров найдут существенную атмосферную нестабильность, которая обеспечит им подъем. На больших высотах становится реальностью полет, осуществляемый мускульной силой человека. В специальном, медленно вращающемся сельскохозяйственном цилиндре с

водой и рыбой можно создать гравитацию в 100 или в 1000 раз меньшую, чем на Земле, и заниматься глубоководным нырянием, не заботясь о выравнивании давления. Шумные или загрязняющие окружающую среду виды спорта, такие, как автогонки, легко могут быть вынесены в один из цилиндров внешнего кольца.



Ключевым элементом в проекте космической колонии является соединение двух цилиндров с помощью натянутого каната и мачты, работающей на сжатие. При этом создается система, которая способна без использования реактивных двигателей коррекции сохранять ориентацию на Солнце. Рядом с основным цилиндром схематически показаны сельскохозяйственные цилиндры.

Колонизацию космоса можно будет начать с минимальной первой модели уже в конце 1980-х годов. Примерно с 2014 года можно было бы удваивать число колоний каждые шесть лет, учитывая, что «родительская» колония может построить «дочернюю». Было подсчитано, что первая модель поселения потребует строительных усилий в 42 тонны на одного человека в год, что сравнимо с усилиями, необходимыми для строительства большого моста на Земле. Для поселений с высокой плотностью населения требуется 50 тонн на человека в год и до 5000 тонн при низкой плотности населения.

Строительство космической колонии в дальнейшем может быть автоматизировано. Конструкция в основном состоит из канатов, арматуры и оконных панелей из стандартных модулей, сочетаемых в рисунке, который повторяется тысячу раз. Сборка происходит в среде с нулевой гравитацией и без капризов погоды.

Строительство первой модели могут характеризовать следующие цифры: число строителей — 2000, общая масса постройки — 500 000 тонн. Предполагается, что модель 1 будет служить эффективной индустриальной базой для строительства модели 2. Существенная особенность всего проекта состоит в том, что Земля после первых двух или трех стадий «размножения» колоний не должна больше их поддерживать. Строительство космических поселений может проходить в так называемой «сфере Дайсона» площадью в 310¹⁷ км², которая окружает Солнце, и на наиболее выгодном расстоянии от него. Для первой колонии, вероятно, лучше всего выбрать особую точку на этой сфере, в пределах легкой досягаемости как Земли, так и Луны, но не так близко, чтобы быть часто затмеваемой, и предпочтительно стабильную в части смещений во всех трех координатах. Точки либрации Лагранжа (см. «Наука и жизнь» № 12, 1971) удовлетворяют всем этим условиям. В районе точки либрации станция будет на околоземной эллиптической орбите, максимальное отклонение составляет несколько десятых от расстояния Земля—Луна. Эта стабильная орбита может вместить несколько тысяч цилиндрических поселений.

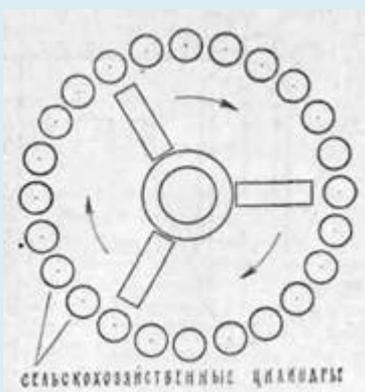
Представление о реалистичности проекта в сильной степени зависит от затрат, которые он потребует. Здесь следовало бы рассмотреть конкретные проблемы: сокращение стоимости запуска космического корабля от Земли к месту расположения колонии; минимизация массы, которую необходимо доставить с Земли; проектирование дешевого устройства для доставки строительных материалов с Луны в район строительства.

Исследования показывают, что, вероятно, самым лучшим в ближайшие 10—15 лет транспортным средством для доставки грузов с Земли будут ракеты с двигателями на

химическом топливе. При этом стоимость доставки определена примерно в 420—940 долларов за килограмм; в своих расчетах автор принял максимальную цифру.

Для сокращения массы, которую необходимо доставить с Земли, большинство одинаковых конструктивных узлов и оконные панели должны производиться в районе строительства из лунного материала. Важный элемент экономики — добытие 89% всей необходимой воды из кислорода, содержащегося в обильных окислах лунной поверхности. Только 11% массы воды в виде жидкого водорода доставляется с Земли. В итоге общей массы модели 1 (500 000 тонн) 98% можно получить с Луны (самые важные вещества — алюминий, титан, кремний и кислород). При добавлении нитратов и малого количества сопутствующих элементов почва лунной поверхности пригодна для сельского хозяйства. Оставшиеся 2%, то есть 10 000 тонн, должны быть завезены с Земли.

Дальнейшее обсуждение системы транспортировки грузов с Луны приводится скорее для доказательства их существования, чем для защиты конкретных устройств. Показано лишь два решения, которые выглядят приемлемыми. Оба используют важные достоинства лунной станции отправления: превосходный вакуум и очень малую стартовую скорость — около 2,4 километра за секунду. Это менее чем четверть стартовой скорости, необходимой для удаления от Земли. Для доставки одного килограмма с Луны к точке либрации нужна энергия, составляющая менее чем 5% от энергии, необходимой для доставки одного килограмма с Земли. Предлагаемые системы транспортировки используют электрическую энергию, которую дают лунные гелиоустановки, разумеется, только в течение лунного дня. С учетом всяких предвидимых и непредвидимых остановок предполагается, что каждая транспортная установка работает только одну неделю в месяц.



Сельскохозяйственные районы отделены от жилого (главного) цилиндра и каждый район имеет свой самый лучший для роста данной культуры климат. Гравитация, атмосфера и потоки солнечных лучей здесь такие же, как и на Земле, но попыток имитировать внешний вид Земли уже нет. Избранные семена начинают расти в стерильных условиях так, что средства от насекомых и других вредителей не нужны. В случае необходимости можно провести стерилизацию всего заряженного сельскохозяйственного цилиндра путем нагрева. Вся растительная пища может быть свежей, она растет всего в 30 км от места потребления. Сельскохозяйственные цилиндры могут быть равномерно распределены по сезонной фазе, так что в любое время в каком-либо из них проходит уборка урожая желаемой культуры.

Первая система — роторный дробовой метатель, РДМ, очень сильно напоминает двухлопастный пропеллер. Лопасты сбрасывают лунное вещество прямо в район строительства космического поселения, точное прицеливание осуществляется электромагнитной системой поворота плоскости метания. Для транспортировки 500 т за шесть лет необходимо около 26 таких РДМ при общей потребляемой мощности в 32 МВт.

Другая система — транспортировочный линейный ускоритель, ТЛУ, использует ускоряющее магнитное поле. Это система сверхпроводящих катушек, последовательно ускоряющих полезный груз в 9 кг до стартовой скорости. Груз находится в ковше, на выходе ТЛУ они расходятся — груз по инерции выходит на космическую трассу, ковш возвращается к началу ТЛУ за новой порцией груза.

Было подсчитано, что в район строительства первого поселения (модель 1) нужно будет доставить около 500 тыс. т грузов, в том числе всего 10 тыс. т с Земли. Это материалы — алюминий (20 тыс. т), стекло (10 тыс. т), вода (50 тыс. т, а также большие запасы, необходимые для строительства модели 2).

Почва, камень, строительные материалы (420 тыс. т) доставляются с Луны и из астероидного пояса, который представляет собой богатейший источник уже разведанного сырья. Автор полагает, что можно будет сами астероиды медленно перевозить в район строительства, например, снабдив их электрореактивными двигателями, которые будет питать бесплатная солнечная энергия. Возможна также транспортировка астероидного вещества с помощью ТЛУ и РДМ.

Произведен детальный расчет лунных вариантов ТЛУ и РДМ, вот некоторые цифры из этих расчетов. Вес одного ковша ТЛУ—5 кг, его полезная загрузка—9 кг, число ковшей — 8, период обращения ковша — 1 сек, максимальный ток в ускоряющих катушках — 135 тыс. ампер, мощность— 40 млн. кВт, то есть 40 МВт, производительность— 750 тонн в день. Скорость вращения лопастей РДМ—2 800 оборотов в минуту, производительность — 3 250 тонн в год, при транспортировке груза в виде пятиграммовых шариков.

В своей статье профессор О'Нейл приводит и ряд других расчетов, в частности подробный расчет самой стальной конструкции цилиндра. Подсчитано, что для цилиндра модели 4 при среднем давлении на стенки до 7,5 тонны на кв. м (при этом средняя толщина слоя почвы может быть 1,5 м) лонжероны могут быть сделаны из стальных канатов толщиной 0,8 м, связанных по четыре с интервалом 14 м; пояса могут иметь ту же конструкцию, но уже из канатов толщиной 1,5 м.

Сделаны также ориентировочные экономические расчеты, в них учтены основные расходы на строительство двух первых моделей, включая стоимость оборудования, все _виды_ транспортных расходов, зарплату (предполагается, что для строительства одного поселения понадобится среднегодовая численность работников в несколько десятков тысяч человек). Основная доля расходов приходится на транспортировку с Земли в район строительства материалов и оборудования (11 млрд. долларов), людей (8 млрд. долларов), транспортировка необходимых грузов на Луну (2,2 млрд. долларов), а также общая стоимость самого оборудования, машин, инструментов, средств доставки (около 8 млрд. долларов). Общая стоимость строительства для модели 1 — около 31 млрд. долларов при продолжительности строительства 5 лет, а для модели 2—соответственно 34 млрд. долларов и 4 года. Это соизмеримо со стоимостью программы «Аполлон».

В своих публикациях профессор Г. О'Нейл пытается анализировать ряд проблем, которые можно назвать политическими и социологическими. Автор полагает, что колонизация космоса избавит человечество от такой «мучительной проблемы», как территориальные конфликты, избавит людей от войн за «ограниченные, нерастяжимые куски земной поверхности». Предполагается, что каждая колония или группа колоний может иметь свою культуру, свой язык, проводить свои социальные эксперименты. Обеспеченность «чистой» и бесплатной энергией, богатейшие сельскохозяйственные ресурсы, возможность вести независимый образ жизни, а при желании даже изолироваться от других поселений— все это должно, по мнению автора, создать основу высокой привлекательности «космических коммун».

ФАНТАСТИЧЕСКАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Заметки о статье профессора Г. О'НЕЙЛА «Колонизация космоса»

В своей статье профессор Г. О'Нейл предлагает проект космического поселения. Он выглядит реалистичным. Действительно, в таком городе можно осуществить энергобаланс и замкнутый экологический цикл. Условия жизни представляются не только приемлемыми, но и привлекательными.

Проникнув в космическое пространство, человечество не остановится на пороге, начнет осваиваться, расселяться, и проект О'Нейла показывает возможный путь создания космической сферы обитания.

Однако, занимая в принципе правильную позицию о неизбежном расселении человека в космосе и предлагая приемлемый вариант космических поселений, О'Нейл идеализирует возможные преимущества и даже представляет расселение в космосе как некоторую панацею от язв земного обитания человечества. Действительно, по мере расселения в космосе территориальные споры, возможно, и будут утихать, но, может быть, еще острее будет проблема строительной массы в космических поселениях (астероиды далеко, а масса так или иначе расходоваться должна). И трудно представить независимые разнообразные колонии в противоречивом мире. Космический город защищенным никак назвать нельзя, скорее наоборот, в мире враждебности он беззащитен — его разрушить проще, чем укрепления на Земле. Будущее космических городов только в мире, который принял и выдерживает законы добрососедства.

Доказывая неизбежность и возможность космического расселения человечества, О'Нейл впадает в соблазнительную ошибку экстраполяции короткого современного опыта и современных статистических данных на большие промежутки времени вперед. Я думаю, что еще раньше, чем человечеству удастся расселиться в космосе, ему придется решить проблемы более экономичного способа обеспечения пищей (например, создания синтетической пищи) и проблему резкого уменьшения темпов роста населения, проблемы энергоресурсов.

Экономические оценки в статье и технические трудности занижены, а оценки времени для реализации проекта чересчур оптимистичны. По моим оценкам, стоимость доставки оборудования в Лагранжевы точки с Земли будет в 2—3 раза дороже. Если говорить о доставке материалов с Луны, то тут два существенных замечания. Помимо самой доставки материала, необходимо в космосе или на Луне создать промышленность — обогатительные фабрики, металлургические заводы, заводы по производству стройматериалов и другие предприятия.

И второе — предлагаемый метод доставки с Луны материалов с помощью метательных машин вызывает существенные сомнения: при использовании таких способов следует ожидать большого рассеивания по скоростям в точке метания, что приведет к соответствующему рассеиванию по координатам в районе приема материалов. И потом материалы, прибывающие в район приема, надо «затормозить» и собрать. Это деликатный вопрос, и О'Нейл в статье ничего не говорит о том, как его решать.

Если же доставлять материалы с Луны с помощью химических ракет, водород для которых завозить с Земли, то, как нетрудно подсчитать, это будет явно невыгодно по сравнению с доставкой с Земли. Представляется на первый взгляд более естественной транспортировка астероидов. Но и тут не следует Обольщаться. Для доставки астероида с помощью электрореактивных двигателей на солнечной энергии потребуются совершенно грандиозные солнечные батареи или концентраторы. Например, для доставки астероида размером около 100 м потребуется солнечная установка с диаметром порядка 10 км. Такая

установка может быть заменена ядерной электростанцией мощностью порядка 108 кВт, но это едва ли проще.

Если же доставлять оборудование и материалы с Земли, то стоимость возрастает на два порядка.

Впрочем, все это говорится не к тому, что создание космических поселений бессмысленно и нереалистично. Дело это реальное, перспективное, но трудностей здесь существенно больше. Для расселения в космосе потребуется и больше времени и больше средств. Но то, что сегодня нам не под силу, будет возможно завтра. Вероятно, целесообразно начинать с более близких расстояний. Например, со строительства большой постоянной станции на суточной стационарной орбите спутника Земли или даже еще ближе. Несомненно одно — человечество действительно не останется вечно на Земле, оно неизбежно начнет расселяться в космосе.

Летчик-космонавт СССР, доктор технических наук К. ФЕОКТИСТОВ.