

ПИЛОТИРУЕМАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ НА МАРС – РАБОТА ПРОДОЛЖАЕТСЯ



Разработки показали, что Марс по своим характеристикам, истории, процессам, идущим на этой планете, очень близок к Земле. 3,6 млрд лет назад, Марс претерпел катастрофу и лишился части атмосферы и гидросферы. Поэтому одной из целей пилотируемой экспедиции на Красную планету является определение механизма развития катастрофы на Марсе для научно обоснованного прогноза развития планеты Земля.

Проектно-конструкторская разработка ключевых элементов энергодвигательного комплекса и космической платформы в обеспечении реализации пилотируемой экспедиции на Марс ведется в рамках Федеральной космической программы в России. В работе участвуют ФГУП «Центр Келдыша», ОАО РКК «Энергия» имени С.П. Королева, ФГУП ЦНИИМАШ, Институт космических иссле-

дований РАН, ИМБП РАН, ФГУП «НПП КВАНТ».

Кроме этого, к работе привлечены Российский научный центр «Курчатовский институт», ФГУП «НИКИЭТ имени Н.А. Доллежала», ФГУП «Красная Звезда» и ФГУП «Физико-энергетический институт» имени А.И. Лейпунского.

В 2005 г. подготовлен аванпроект «Пилотируемая экспедиция на Марс», который подвел итоги работы за пять

лет. Проектные работы по межпланетному экспедиционному комплексу выявили важное обстоятельство: сроки и затраты на реализацию экспедиции в основном определяются типом энергодвигательного комплекса. Были рассмотрены ЖРД на жидких кислороде и водороде, ЯРД на рабочем теле жидкий водород, ядерная (ЯЭУ) и солнечная (СЭУ) энергоустановки для питания электроракетных двигателей.

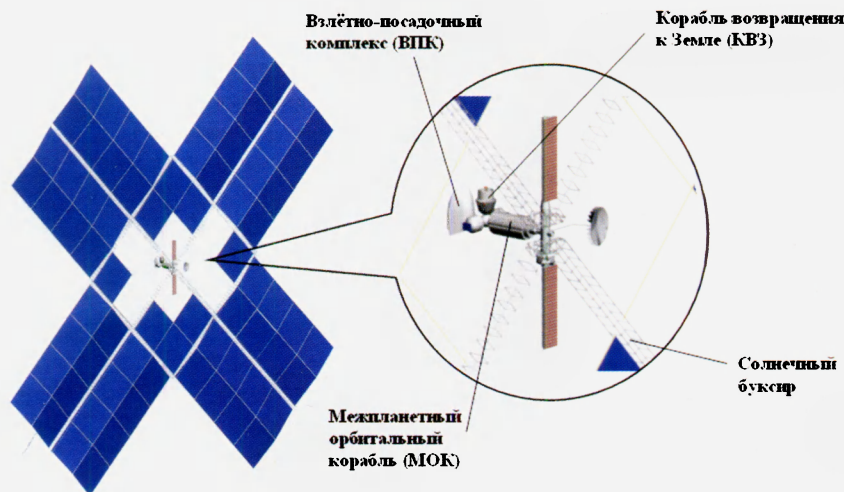
В качестве базовой выбрали СЭУ с тонкопленочными батареями на основе аморфного кремния, общей электрической мощностью около Земли 15 000 кВт, а перспективной рассматривается применение по мере готовности модульной ЯЭУ электрической мощностью модуля 12 500 кВт.

Межпланетный экспедиционный комплекс создается для проведения на первом этапе пяти экспедиций, с использованием одного и того же межпланетного орбитального корабля и солнечного буксира многократного использования. Цель этих пяти экспедиций - выбор и подготовка места для создания марсианской базы.

Для этого необходимо:

- подтвердить в натуральных условиях безопасность полета экипажа (че-

Рис. 1.
Общий вид
межпланетного
экспедиционного
комплекса



Астероиды семейства Apollo, которые сблизятся с Землей до 2010 г. на расстоянии менее 0,1 а.е.

Таблица 1

Обозначение астероида	Дата сближения с Землей	Планеты		Условный диаметр астероида, км	Период обращения вокруг Солнца, лет	Наклонение плоскости орбиты, град.
		Земля, а.е.	Солнце, а.е.			
1991 VK	2007, 01	0,0679	0,91	1,5	2,50	5,41
1862 Apollo	2007, 05	0,0714	0,65	1,5	1,78	6,35
1989 UR	2007, 11	0,0406	0,69	1,0	1,12	10,34
1989 AZ	2008, 01	0,0622	0,87	0,50	2,11	11,76
4450 Pan	2008, 02	0,0408	0,59	1,5	1,73	5,51
1991 VH	2008, 08	0,0291	0,97	1,5	1,21	13,91
4179 Tou-tatis	2008, 11	0,0502	0,91	3,3	3,99	0,47
1993 KH	2008, 11	0,0992	0,85	0,6	1,37	12,80
1991 JW	2009, 05	0,0813	0,91	0,50	1,06	8,71
1994 CC	2009, 06	0,0163	0,95	1,0	2,09	4,63
1991 AQ	2010, 01	0,0892	0,49	1,5	3,31	3,21
1991 JW	2010, 01	0,0953	0,91	0,50	1,06	8,71

тыре человека, из которых двое высаживаются на Марс) по маршруту Земля - Марс - Земля, надежность посадки марсианского взлетно-посадочного комплекса без экипажа и точной посадки и взлета экипажа с планеты и пребыванием на ее поверхности в течение 15 сут;

- подтвердить безопасность проведения исследований на Марсе в составе пилотируемого марсохода с пребыванием на планете до 30 суток (экипаж экспедиции - шесть человек, из них трое высаживаются на поверхность планеты);

- провести на Марсе разведку и предварительные работы с целью выбора места и создания временного аванпоста на Марсе (длительность пребывания - 30 сут, экипаж - шесть человек);

- подтвердить в натурных условиях в составе временного аванпоста эффективность проведения экипажем исследований на Марсе и скорректировать план развертывания марсианской базы (длительность пребывания 30-60 сут, экипаж - шесть человек).

Назначение марсианской базы, ее структура, а также состав планетного оборудования требуют изучения роли исследований Марса в уменьшении угроз при дальнейшем развитии цивилизации.

Угрозой для цивилизации на планете Земля является вероятность столкновения с Землей фрагментов астероидов и комет. Падение в Сибири в 1908 г. космического фрагмента, названного «Тунгусским метеоритом», имело поражающий эффект на площади 60 x 60 км с тротиловым эквива-

лентом взрыва 14 Мт (атомная бомба в г. Хиросиме имела мощность 0,02 Мт). Численное моделирование показало, что фрагмент имел диаметр около 100 м, массу 233 000 т.

Наблюдение за астероидами с Земли при их подлете к Земле за 6-9 месяцев практически невозможно, так как это придется делать на фоне Солнца. Наблюдение возможно только за время меньше 3 или больше 15 месяцев. Срок в 3 месяца считается недостаточным для принятия мер, исключающих столкновение или прохождение астероида на опасном расстоянии от Земли. При запасе по времени в 15 месяцев возникают трудности по обнаружению астероида из-за его удаленности от Земли почти на 3-4 а.е.

Наблюдения с помощью космического аппарата SOHO говорят, что около Земли пролетает до 100 комет в год, прогноз движения которых очень затруднен, поскольку со временем они разрушаются на фрагменты. Поэтому целесообразно рассматривать создание на Марсе или в его окрестностях космической станции по мониторингу за движением астероидов, комет и их фрагментов. По оценкам, общее число фрагментов размером более 50 м (почти как у «Тунгусского метеорита»), но менее 1000 м, составляет от 0,5 до 1,5 млн, что примерно в 1000 раз больше числа астероидов размером около километра.

Угрозой для биосферы планеты Земля является

также ослабление или исчезновение ее магнитного поля. Начиная с первых измерений магнитного поля Земли в 1829 г., обнаружено, что ее магнитное поле уменьшается более чем на 2,5% за 100 лет. В результате палеомагнитного исследования Земли установлен неоднородный характер изменения дипольного магнитного поля Земли на протяжении последних 9000 лет. Полярность магнитного поля не изменялась, но на более продолжительных интервалах времени магнитное поле Земли, возможно, много раз меняло свое направление, примерно на противоположное.

В 1965-1980 годы было экспериментально показано сильное воздействие слабых магнитных полей на химические реакции, включающие свободные радикалы, а в 1986 г. была присуждена Ленинская премия за цикл работ «Магнито-спиновые эффекты в химических реакциях». Также обнаружилось явление магнитно-изотопной селективности химических реакций, зарегистрированное как открытие в 1985 г.

Общеизвестен также факт, что

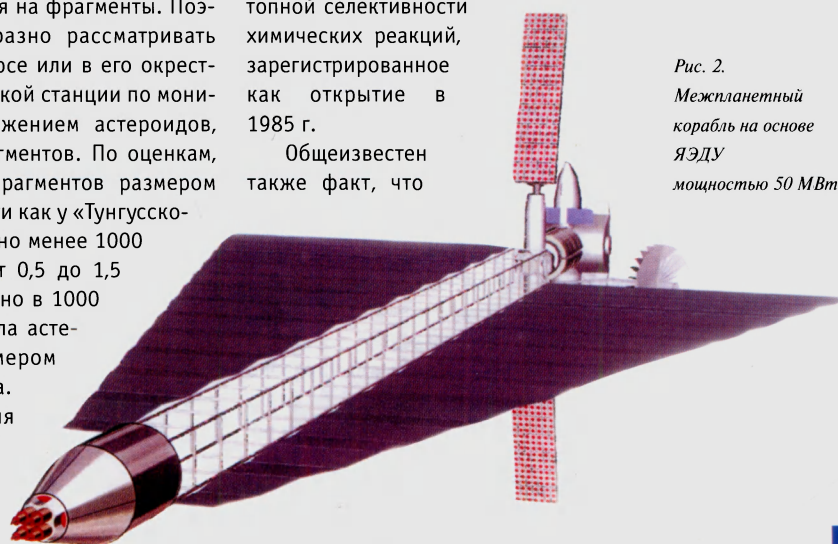


Рис. 2. Межпланетный корабль на основе ЯЭДУ мощностью 50 МВт

Источники внешней и внутренней энергии Земли		Таблица 2		
Вид энергии, мощность, кал/(см ² ·год)	Время после образования Земли			
	4,6 млрд лет (наст. время)	500 млн лет	10 млн лет	
Суммарная солнечная радиация	265 000	170 000	132 000	
Ультрафиолетовое излучение Солнца, длина волны $\lambda = 20-150$ нм	1,4	4-30	100-10 000	
Рентгеновское излучение Солнца, $\lambda = 0,3-6$ нм	0,2	7	70-700	
Радиоактивность земной коры толщиной 35 км	15,5	47	-	
Тепло, выделяющееся при извержении вулканов	0,15	> 0,15	-	
Электрические разряды молний	4	4	-	

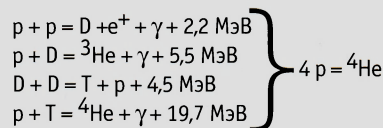
магнитное поле Земли препятствует проникновению в атмосферу ионизирующей радиации Солнца и космических галактических лучей, защищая биосферу от их негативного воздействия.

Представленные факторы указывают на взаимную обусловленность появления и развития жизни на планете и наличия магнитного поля. Более того, планета должна иметь состав и структуру, усиливающие магнитное поле окружающей космической среды. Так, около Земли солнечная плазма имеет напряженность $6 \cdot 10^{-5}$ Э, а на ее поверхности - около 0,5 Э, т.е. коэффициент усиления достигает 10^4 . Как показывают исследования, механизмом усиления является дифференциальное вращение с разной угловой скоростью электропроводящих турбулентных жидких слоев ядра планеты.

Исследования Марса беспилотными космическими аппаратами показали, что 3,6 млрд лет назад планета имела атмосферу, гидросферу, влажный теплый климат и была очень похожа на Землю. Затем в результате катастрофы Марс потерял часть атмосферы и гидросферы. Остатки гидросферы превратились в вечную мерзлоту. Многие исследователи увязывают эту катастрофу с охлаждением электропроводящего ядра планеты, с переходом его в твердое состояние и прекращением действия механизма усиления магнитного поля. В настоящее время средняя напряженность магнитного поля Марса составляет у экватора $6,5 \cdot 10^{-4}$ Э, т.е. коэффициент усиления - 10.

Имеется и третья угроза, связанная с тем, что Солнце является звездой третьего поколения, которая благодаря своим небольшим размерам и

составу превратилась в долгожителя среди звезд. Возраст Солнца - около 5 млрд лет, и основным источником энергии являются термоядерные реакции на основе ядер водорода, т.е. протонов p (водородный цикл):



Такое длительное существование Солнца с характеристиками, изменившимися в небольших пределах (табл. 2), способствовало появлению и эволюции планет, что привело к появлению жизни и цивилизации на одной из них.

Для нашего Солнца примерно через 4-5 млрд лет, когда в его ядре выгорит весь водород, водородный цикл сменится гелиевым, который можно представить как реакцию слияния ядер гелия: ${}^3\text{He} = {}^{12}\text{C}$. С накоплением в ядре звезды изотопа углерода ${}^{12}\text{C}$ начнется реакция взаимодействия ядер гелия и углерода: ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} = {}^{16}\text{O}$.

Звезда превратится в красного гиганта с размером конвективной зоны до 1 а.е. - так показывает статистика эволюции звезд. Земля в этом случае может попасть в конвективную зону звезды и сгореть. Поэтому цивилизация обязана рассматривать вероятность такой угрозы для планеты и разрабатывать меры по ее сохранению. Одной из мер является недопущение попадания планеты Земля в конвективную зону красного гиганта. Другой мерой может служить освоение цивилизацией запасной планеты, находящейся дальше от Солнца, например Марса.

Представленный выше материал позволяет сформулировать задачи, стоящие перед марсианской базой:

- Определение механизма катастрофы на Марсе, приведшей к потере части атмосферы, гидросферы и ослаблению магнитного поля планеты, и мер, необходимых для превращения Марса в планету, комфортную для постоянного проживания людей.

- Поиск жизни и ее следов в прошлом и настоящем на Марсе и мониторинг движения астероидов, комет и их фрагментов с целью исключить опасные возмущения в системе «Земля - Луна» при их близком пролете и возможное столкновение.

В соответствии с этим марсианская база должна включать взлетно-посадочный, жилой, энергетический, транспортно-технологический и научно-исследовательский комплекс, а также средство мониторинга астероидно-кометной опасности.

Жилой комплекс предназначен для проживания от двух до шести человек в течение 30 - 500 суток по мере развертывания марсианской базы и должен иметь в своем составе командно-жилой, научно-исследовательский, шлюзовой, складской и переходный модули.

Дислокация марсианской базы должна выбираться с учетом безопасности посадки и взлета (наиболее выгодно в экваториальной зоне с максимально низким топографическим участком с более плотной атмосферой) и проживания, с использованием рельефа местности с возможностью создания искусственных валов или углублений для повышения радиационной защиты, в том числе от солнечных вспышек. На поверхности Земли атмосфера плотностью 1 кг/см^2 надежно защищает биосферу, в то время как на Марсе этот параметр не превышает $10-15 \text{ г/см}^2$.

Немаловажно и наличие жидкой воды при наименьших глубинах залегания с возможностью ее использования в системах обеспечения жизнедеятельности и для получения компонентов ракетного топлива в процессе освоения Марса. Региональная геологическая ситуация должна способствовать эффективно исследованию внутреннего строения планеты с помощью геофизических методов.

Рельеф местности должен способствовать мониторингу астероидно-кометной опасности с наименьшими помехами, вызванными активной деятельностью человека на поверхности Марса.

Энергетический комплекс мощностью от 25 до 200 кВт предназначен для электроснабжения жилого комплекса, технологического и научного оборудования по мере развертывания марсианской базы с гарантированным ресурсом не менее 15 лет. Он должен иметь атомную и солнечную электростанции, причем последняя предназначена для покрытия пиковых нагрузок и обеспечения расширенного производства ракетных компонентов топлив из местных ресурсов.

Учитывая, что в России была создана ядерная энергоустановка с термоэмиссионным реактором-преобразователем первого поколения, рассматривалась аналогичная установка второго поколения, а также - с газотурбинным циклом преобразования с целью проведения анализа эксплуатационных особенностей каждого типа.

Марсианский транспортно-технологический комплекс предназначен для автономного проживания экипажа в отдаленных от места посадки районах планеты и транспортировки экипажа, оборудования и грузов, научных исследований и строительно-монтажных работ на поверхности Марса.

Транспортно-технологический комплекс формируется на основе пилотируемых и беспилотных марсоходов, а также летательных аппаратов типа дирижабль с дистанционным управлением.

Научное оборудование марсианской базы должно позволить экипажу проводить исследования по эффективной добыче и очистке воды на Марсе, электролизу воды для получения водорода и кислорода, реализации химической реакции (реакция Собатье) $4H_2 + CO_2 = CH_4 + 2H_2O$ и сжижению кислорода и метана, хранению и заправке баков взлетной ракеты.

Высокое содержание CO_2 в атмосфере Марса (95%) позволяет рассматривать его в качестве источника для синтеза таких пищевых

Режим работы экипажа на поверхности Марса для первых экспедиций

Таблица 3

Кол-во суток со дня пребывания на Марсе	Режим работы экипажа	
1-3	Экипаж проходит адаптацию к условиям Марса, проводит контроль работоспособности систем взлетно-посадочного комплекса (ВПК) и стыковки пилотируемого марсохода (ПМХ) к ВПК	
4	Два человека из экипажа осуществляют контрольный выход из ШО ВПК на поверхность планеты; проводится визуальный анализ состояния ВПК и ПМХ	
5	День отдыха и принятия варианта исследования Марса, подготовка к поездке № 1 на дальность до 5 км	
6	Осуществление поездки № 1 общей продолжительностью не более 2 ч с возвращением в исходную точку	
7	Анализ результатов поездки № 1, дозаправка израсходованных компонентов, подготовка к поездке № 2 на дальность 10 км	
8	Поездка № 2 продолжительностью не более 4 ч и возвращение в исходную точку	
9-10	Отдых, анализ результатов поездки № 2, подготовка к поездке № 3 на дальность 20 км; восполнение израсходованных компонентов	
11-12	Поездка № 3 длительность 48 ч, возвращение в исходную точку	
13	Отдых, анализ результатов поездки № 3 и всей работы за 13 сут, корректировка программы	
14	Отъезд ПМХ от ВПК, тренировка взлета	
	Вариант «А»	Вариант «Б»
15-17	Подготовка взлета	Подготовка к поездке № 4 на дальность 20 км
18	Старт взлетного модуля из ВПК и выход на околomarсианскую орбиту	Поездка № 4
19-20	Стыковка с МОК	Поездка № 4, продолжение; возвращение в исходную точку
21-22	Проверка систем МЭК для отлета к Земле	Отдых, анализ результатов, поездка № 4
23-24	Резерв времени	Подготовка взлета
25	Отлет к Земле	Старт взлетного модуля из ВПК и выход на околomarсианскую орбиту
26-27	-	Стыковка с МОК
28-29	-	Проверка систем МЭК для отлета к Земле
30	-	Отлет к Земле

продуктов, как углеводы - $C_nH_{2n}O_n$, глицерин - $C_3H_5(OH)_3$ и этанол - C_2H_5OH .

Одним из важных направлений исследований на Марсе будет также определение возможности целенаправленного изменения климата планеты, чтобы сделать его приемлемым для проживания человека. При этом рассматриваются сублимация полярных шапок на Марсе с помощью орбитальных отражателей солнечного све-

та и добавление в атмосферу специальных газов, обеспечивающих увеличение парникового эффекта на планете.

С 2006 г. начаты работы над эскизным проектом «Пилотируемая экспедиция на Марс».

Итак, основным назначением марсианской базы должно быть обеспечение научного прогноза развития Земли в ближайшие столетия на основе сравнительного анализа развития Земли и Марса в прошлом, поиски следов жизни в прошлом и настоящем, выявление роли магнитного поля на зарождение жизни и обеспечение астероидно-кометной безопасности системы «Земля - Луна». В связи с этим необходимо усилить общественную поддержку пилотируемой экспедиции на Марс.

Виталий СЕМЕНОВ,
главный конструктор
ФГУП «Центр Келдыша»

Научное оборудование первых экспедиций на Марс

Таблица 4

Научное оборудование	Масса, кг
Комплект геологической аппаратуры для проведения полевых работ: ручной инструмент, TV-камеры, контейнер для образцов, инструмент для документирования.	335
Геофизические инструменты	400
Метеорологические инструменты	200
Буровой станок для скважин глубиной 10 м	260
Буровая установка для скважин глубиной 1 км	20000