

МАРСИАНСКАЯ ГОНКА. PERSEVERANCE

Марс — самая доступная для исследования планета после Земли, если учесть расстояние до нее, условия на поверхности и параметры орбиты. Четвертая планета от Солнца и ближайший сосед Земли, Марс стал предметом тщательного изучения современных ученых с помощью мощных телескопов, зондов дальнего космоса и орбитальных космических кораблей. Была ли на нем когда-то жизнь? Возможно, ответ нас ждет где-то в кратере Езеро. Марсоход НАСА Perseverance, успешно достигший поверхности в ночь с 18 на 19 февраля сего года, начинает процесс выяснения.

Летом 2020 г. взаимное расположение Марса и Земли было оптимальным для запуска зондов, и человечество не упустило свой шанс. В полет отправились сразу три миссии. Прежде всего это миссия NASA «Марс-2020». Кроме того, летом 2020 г. свой первый марсоход запустил и Китай. Его миссия носит название «Тяньвэнь-1». Она состоит из ровера и орбитального зонда, каждый из которых оснащен собственными приборами для исследова-

ния Марса. Отметим, что успех этой миссии сделает Китай второй после США страной, аппарат которой сможет успешно работать на поверхности Красной планеты. Но пока миссия лишь прибыла на орбиту (10 февраля), а высадка ровера планируется на май. Наконец, в космос отправился зонд Объединенных Арабских Эмиратов (ОАЭ) «Аль-Амаль» («Надежда»). Это первая межпланетная миссия арабского государства. «Над-

ежда» представляет собой орбитальный аппарат без посадочных модулей, который займется изучением атмосферы Марса. ОАЭ запустили свой зонд 20 июля 2020 г. из космического центра Танегасима, Япония. 9 февраля 2021 г. он успешно вышел на орбиту. Таким образом, ОАЭ стали первой арабской страной, достигшей Марса.

Важной особенностью Марса является то, что в настоящее время он тектонически неактивен. В некотором

Авторы — Николай Макаренко, Наталья Беспалова



Марсоход Perseverance («Настойчивость») готовят к полету

смысле Марс может быть даже лучше, чем Земля, для сохранения признаков ранней жизни. Земля тектонически активна, поэтому древние породы возрастом, скажем, три-четыре миллиарда лет были похоронены при высоких температурах и давлении, и эти условия сотрут любые следы жизни, которые они могли содержать. Поверхность же Марса сравнительно мало меняется под воздействием таких процессов, как тектоника или разрушающая сила воды. Если на Марсе три-четыре миллиарда лет назад была жизнь и если мы найдем ее следы, это может стать свидетельством самой ранней жизни в Солнечной системе.

Температура на планете колеблется от $-153\text{ }^{\circ}\text{C}$ на полюсах зимой и до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ на экваторе летом (максимальная температура атмосферы, зафиксированная ранее марсоходом «Спирит», составила $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$), средняя температура — около 210 K ($-63\text{ }^{\circ}\text{C}$). В средних широтах температура колеблется от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ зимней ночью до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ летним днем, среднегодовая температура — $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Атмосфера Марса, состоящая в основном из углекислого газа, очень разрежена. Давление у поверхности Марса в 160 раз меньше земного — 6,1 мбар на среднем уровне поверхности. Из-за большого перепада высот на Марсе давление у поверхности сильно изменяется. Примерная толщина атмосферы — 110 км.

Разреженная по сравнению с земной атмосфера затрудняет безопасный спуск, требует теплозащиты и не допускает эффективного аэродинамического торможения. Примерно половина всех миссий на Марс терпели неудачу. Пока НАСА остается единственным космическим агент-

ством, которое управляет космическими аппаратами на поверхности этой планеты. Из-за задержки сигнала с Марса посадка может быть только автоматической. Во время посадки Perseverance требовалось более 11 минут, чтобы получить обратно радиосигнал с Марса, поэтому к тому времени, когда команда миссии слышала, что космический корабль вошел в атмосферу, на самом деле марсоход уже находился на поверхности.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСАДКИ

Американские роверы садятся за счет посадочного модуля с мощными тормозными двигателями, который опускает аппарат на поверхность на тросах.

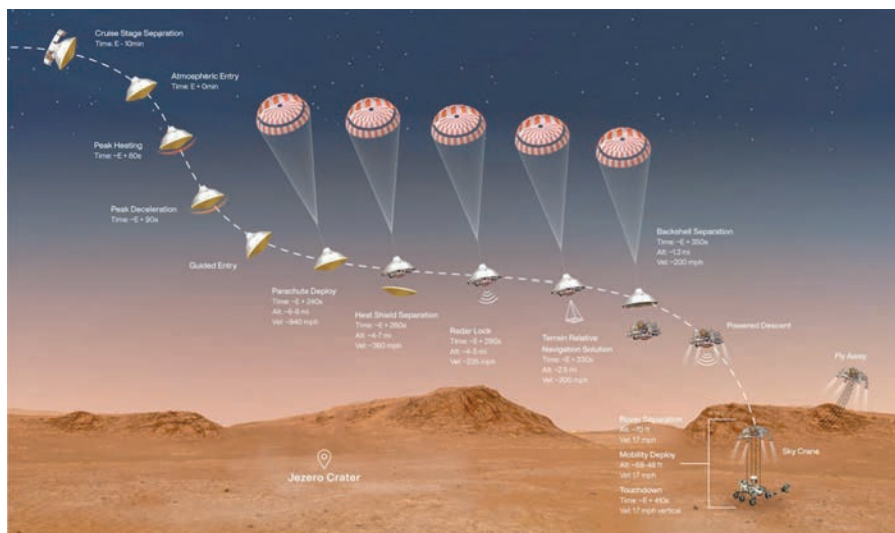
За десять минут до входа в атмосферу космический корабль отстыковывает крейсерскую ступень, в которой находятся солнечные батареи, радиоприемники и топливные баки, используемые во время полета к Марсу. Только защитный тепловой экран со спускаемой площадкой и марсоходом внутри совершает спуск. Перед тем, как войти в атмосферу, космический корабль включает небольшие двигатели на задней части корпуса, чтобы переориентироваться и убедиться, что тепловой экран направлен вперед.

Когда космический корабль входит в атмосферу Марса, возникающее сопротивление резко замедляет его, и при этом он сильно нагревается. Пиковый нагрев происходит примерно через 80 секунд после входа в атмосферу, когда температура на внешней поверхности теплового экрана достигает около $1\ 300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это был самый драматический момент при посадке Perseverance, когда с аппаратом на несколько секунд исчезла связь, которая, впрочем, довольно быстро восстановилась. Тепловой экран защищает марсоход, который нагревается только до комнатной температуры.

Когда космический корабль начинает опускаться в атмосферу, он сталкивается с более или менее плотными воздушными карманами, которые могут сбить его с курса. Чтобы компенсировать отклонения, он запускает небольшие подруливающие устройства на своей задней части, которые регулируют его



Perseverance запущен на ракете Atlas V-541 на мысе Канаверал. «Атлас V» — одна из самых больших ракет, предназначенных для межпланетных полетов. Это ракета того же типа, с помощью которой на Марс были запущены InSight и Curiosity



Профиль входа, спуска и посадки марсохода Perseverance: события, которые происходят в последние минуты почти семимесячного путешествия марсохода NASA Perseverance на Марс. Фото: НАСА / JPL-Caltech

Через 20 секунд после раскрытия парашюта тепловой экран отделяется и падает на планету. Марсоход попадает в атмосферу Марса, и основные камеры и инструменты могут начать фиксировать изображения быстро приближающейся поверхности внизу. Его посадочный радар отражает сигналы от поверхности, чтобы определить высоту.

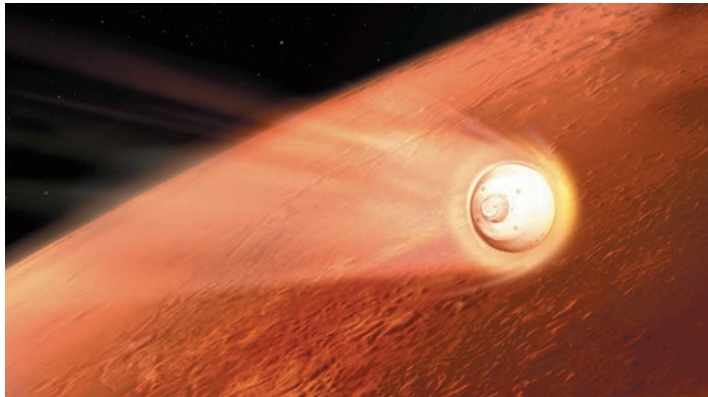
Между тем начинает действовать еще одна новая технология EDL — *Terrain-Relative Navigation*. Используя специальную камеру для быстрого определения объектов на поверхности, марсоход сравнивает их с бортовой картой, чтобы точно определить, куда он направляется. Члены команды миссии заранее нанесли на карту самые безопасные районы зоны приземления.

В разреженной марсианской атмосфере парашют способен замедлить транспортное средство только до 320 км/ч. Чтобы достичь безопасной скорости приземления, Perseverance должен освободиться от парашюта и пролететь остаток пути с помощью реактивных двигателей. Непосредственно над марсоходом, внутри корпуса, находится спуска-

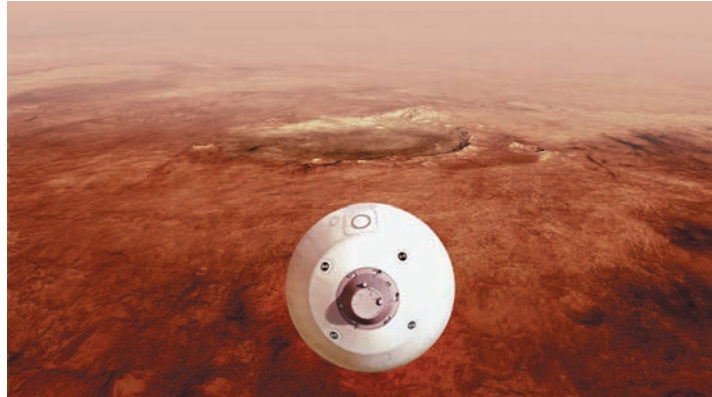
угол и направление спуска. Этот метод «управляемого входа» помогает космическому кораблю оставаться на пути к цели независимо от внешних факторов.

Тепловой экран замедляет космический корабль до скорости менее 1 600 км/ч. Тогда можно безопасно развернуть сверхзвуковой парашют. Чтобы определить время этого

критического события, Perseverance использует новую технологию — Range Trigger — для расчета расстояния до места посадки и раскрытия парашюта в идеальное время, чтобы попасть в заданный район. Парашют, диаметр которого составляет 70,5 фута (21,5 м), раскрывается на высоте около 7 миль (11 км), когда скорость составляет около 1 512 км/ч.



Космический корабль с марсоходом Perseverance замедляется за счет сопротивления, возникающего при путешествии через марсианскую атмосферу. Фото: НАСА / JPL-Caltech через AP



Аэрооболочка, содержащая марсоход Perseverance, направляется к поверхности Марса при спуске в атмосфере. Фото: НАСА / JPL-Caltech через AP



Марсоход Perseverance разворачивает сверхзвуковой парашют из своей аэрозольной оболочки, замедляясь перед приземлением на поверхность Марса. Фото: НАСА / JPL-Caltech через AP



Безопасная посадка марсохода НАСА Perseverance на Марс. Сотни критических событий должны выполняться безупречно и точно вовремя, чтобы марсоход благополучно приземлился. Фото: НАСА / JPL-Caltech



Марсоход Perseverance, опущенный к поверхности Марса во время его энергетического пуска. Марсоход показан с необычайной детализацией всего на высоте 2 метра над поверхностью, его опускают с помощью тросов, прикрепленных к мостовому крану, а красная пыль поднимается ракетными двигателями. 18 февраля 2021 г.

Фото: НАСА через AP



Первое цветное изображение, отправленное марсоходом Perseverance Mars после его приземления 18 февраля 2021 г. Это девятый раз, когда НАСА успешно приземлилось на Марсе и пятый марсоход.

Фото: НАСА / JPL-Caltech через AP

мая ступень с восемью ракетными двигателями, направленными вниз. На высоте примерно 2 100 м запускаются двигатели ступени спуска.

Ступень спуска быстро переключается в ту или иную сторону, чтобы избежать столкновения с парашютом и спусковым защитным экраном, падающими следом. Направление маневра отклонения определяется безопасной целью, выбранной компьютером, на котором выполняется навигация по местности.

Когда ступень спуска выравнивается и замедляется до конечной скорости спуска около 2,7 км/ч, она инициирует маневр «небесный кран». Примерно за 12 секунд до приземления на высоте около 20 м над поверхностью марсоход опускают на тросах длиной около 6,4 м. Тем временем марсоход отключает свою систему подвижности, фиксируя опоры и колеса в посадочном положении.

Как только марсоход получает сигнал, что его колеса коснулись планеты, он быстро перерезает кабели, соединяющие его со ступенью спуска. Это освобождает спускаемую ступень, позволяя ей улететь и совершить неконтролируемую посадку на поверхность на безопасном расстоянии.

МЕСТО ПОСАДКИ

Следует помнить, что драгоценные недели и месяцы на Марсе можно потратить, просто переезжая к интересующему исследователей месту. Технология *Range Trigger* уменьшает размер посадочного эллипса (область

овальной формы вокруг приземляемой цели) более чем на 50 %, помогая поставить марсоход на землю ближе к основной цели, чем это было возможно ранее.

Рover *Perseverance* («Настойчивость») произвел посадку в западной части равнины Исиды на краю 49-км кратера под названием Езеро. Миллиарды лет назад там было самое настоящее озеро, в которое впадала река, образовав дельту и, соответственно, дельтовые отложения, глинистые и карбонатные. Место посадки заполнено скалами, ямами, песчаными дюнами и полями камней, любой из которых может обречь миссию стоимостью в 3 млрд долл. на неудачу. Но важно собрать образцы именно в этом месте, поскольку ранее затопленная местность может содержать свидетельства прошлой жизни.

ИНСТРУМЕНТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Миссия «Mars 2020» оснащена 23 камерами — это больше, чем в любой иной межпланетной миссии в истории. Внешнее устройство ровера *Perseverance*, во многом напоминает *Curiosity*, но питание он будет получать не от солнечных панелей, а от ядерной установки. Таким образом, он может работать даже в условиях пыльных бурь, которые блокируют солнечный свет, необходимый космическим аппаратам на солнечных батареях. У марсохода есть дрель для сбора кернов марсианской породы и почвы, а затем их хранения в запечатанных пробирках для после-

дующей передачи их будущей миссии, которая доставит взятые пробы на Землю для подробного анализа.

Также ровер снабжен **СПЕЦИАЛЬНЫМИ НАУЧНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ**, приводимыми ниже.

Планетарный инструмент для рентгеновской литохимии — *Planetary Instrument for X-Ray Lithochemistry, PIXL* — рентгенофлуоресцентный спектрометр для точного определения элементного состава материалов с поверхности Марса.

Радиолокационный визуализатор для марсианского подповерхностного эксперимента — *Radar Imager for Mars' subsurface experiment, RIMFAX* — георадар для получения изображений грунтов разной плотности, структурных слоев, подповерхностных горных пород, метеоритов и обнаружения подземного водяного льда и соляного рассола на глубине до 10 м.

Марсианский анализатор динамики окружающей среды — *Mars Environmental Dynamics Analyzer, MEDA* — набор сенсоров для измерения температуры, скорости и направления ветра, давления, относительной влажности, радиации, а также размера и формы частиц марсианской пыли.

SuperCam — набор инструментов для оптического, химического и минералогического анализа камней и почвы на Марсе.

Мультиспектральный стереоскопический прибор для визуализации *Mastcam-Z* с зум-объективом.

Рамановское и люминесцентное сканирование пригодной для жизни



Perseverance — это 6-колесный марсоход размером с компактный автомобиль: около 3 м в длину, 2,7 м в ширину и 2,2 м в высоту. Но при весе 1025 кг он весит меньше, чем компактный автомобиль. Его конструкция разработана на основе удачной разработки, примененной на марсоходе Curiosity. Фото: НАСА / JPL-Caltech



Вертолетный дрон Ingenuity («Изобретательность») стоит на поверхности Красной планеты, на заднем плане марсоход Perseverance («Настойчивость»). Фото: НАСА / JPL-Caltech

среды для поиска органических и химических веществ — *Scanning Habitable Environments with Raman and Luminescence for Organics and Chemicals, SHERLOC* — ультрафиолетовый рамановский спектрометр, использующий точную визуализацию и ультрафиолетовый лазер

для определения мелкомасштабной минералогии и обнаружения органических веществ.

Марсианский исследовательский эксперимент с кислородом in situ — *Mars Oxygen ISRU Experiment, MOXIE* — исследование технологии по производству кислорода (O_2) из диоксида углерода (CO_2) марсианской атмосферы.

На этом последнем мы остановимся несколько подробнее. Процесс производства кислорода из углекислого газа сродни электролизу воды и расщепляет CO_2 на кислород и монооксид углерода. Название инструмента — аббревиатура, но также тоxie означает по-английски — смелость, дерзость, практичность, предприимчивость. *MOXIE* имеет массу 17,1 кг, потребляет 300 Вт и может производить до 10 грам-

мов кислорода в час. Планируется явно не производство в промышленных масштабах, а эксперимент, проверка принципиальной возможности получать кислород на Марсе таким образом. Если все получится, то можно подумать о более серьезной установке, которая позволит получать кислород не только для дыхания, но и для ракетного топлива, которое используют на обратном пути. Такая установка будет иметь массу порядка тонны, но это должно себя оправдать. Для успешного путешествия на Красную планету и обратно жидкого кислорода понадобится от 33 до 50 т, и три четверти этого количества можно будет получить на месте. Ну а в самых смелых своих мечтах человечество уже видит Марс, покрытым сетью установок, создающих кислородную атмосферу.

Под днищем *Perseverance* спрятан небольшой вертолетный дрон под названием Ingenuity («Изобретательность»). Ровер должен будет опустить дрон на поверхность и переместиться на 100 м, чтобы не помешать его полету. После того, как инженеры на Земле проведут проверки системы, Ingenuity исследует окрестности марсохода. Это будет первый случай, когда будет проведён полет в атмосферных условиях, отличных от земных, и при гравитации, которая составляет примерно треть нашей собственной. В искусственно созданных марсианских условиях Ingenuity работал, но как он поведет себя на настоящем Марсе?

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРОНА

Вес — примерно 1,8 кг (или 680 г на Марсе).

Высота — 49 см.

Система лопастей — две пары карбоновых лопастей длиной по 120 см, вращающихся в противоположные стороны со скоростью 2400 оборотов в минуту (40 оборотов в секунду).

Корпус — 13,6 x 19,5 x 16,3 см.

Опоры — четыре композитные ноги длиной 38,4 см.

Клиренс — 13 см.

Источник энергии — солнечные батареи поверх роторной системы. Заряжают шесть литийионных батарей.

Камеры — две камеры. Одна — цветная, направленная по горизонту для съемки поверхности Марса, и одна — черно-белая, для навигации.

Высота полета — 5 м.

Дальность полета — 300 м.