

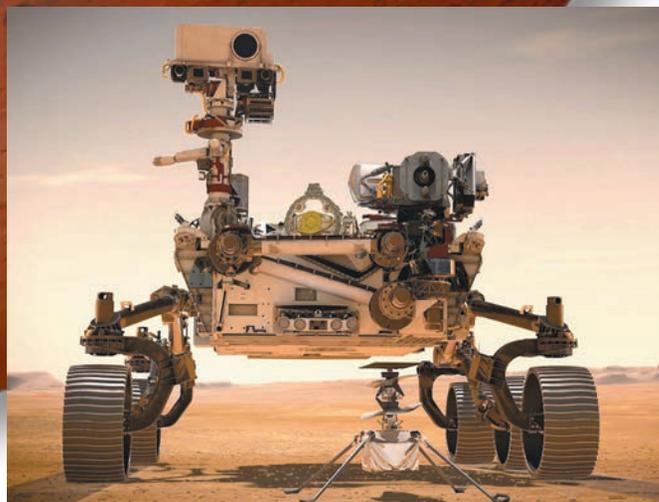
МАРСОХОД NASA PERSEVERANCE ИМЕЕТ УСТРОЙСТВО, КОТОРОЕ ПРЕВРАЩАЕТ CO₂ В КИСЛОРОД НА МАРСЕ

Марсоход Perseverance, направляющийся к Красной планете, оснащен устройством под названием Mars Oxygen In-situ Resource Utilization Experiment, или MOXIE, которое попытается произвести кислород на планете, где он составляет менее 0,2 % атмосферы.

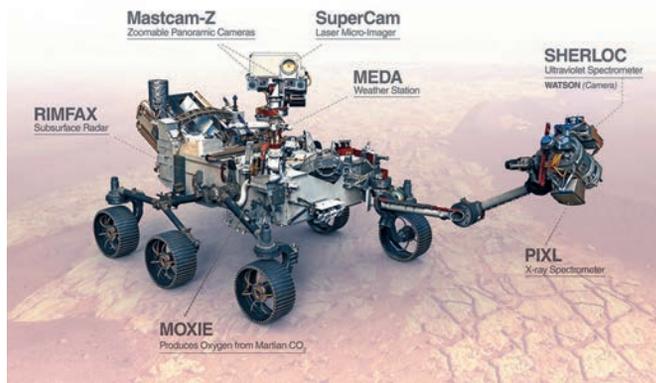
Многие инструменты для Perseverance разработаны как экспериментальные шаги к исследованию Красной планеты человеком. На его борту находится множество передовых технологий, включая видеоборудование высокой четкости и первый межпланетный вертолет. Кислород — громоздкая полезная нагрузка в космических полетах. Он занимает много места, и очень мало-



Космический корабль, запущенный к Марсу 30 июля с мыса Канаверал, штат Флорида, ракетой United Launch Alliance Atlas V, после 204-дневного путешествия приземлится в кратере Джезеро на Марсе 18 февраля 2021 г., куда доставит марсоход NASA Perseverance



Perseverance оснащен набором высокотехнологичных инструментов, 23 камерами, двумя микрофонами, лазером для испарения породы и специальной роторной ударной дрелью для сбора образцов. На иллюстрации художника изображены марсоход NASA Perseverance и вертолет Ingenuity на Марсе. NASA / JPL-Caltech



Perseverance (Настойчивость) — это улучшенная версия Curiosity — быстрее и умнее, он способен автономно перемещаться на 200 метров (650 футов) в день. Он размером с небольшой внедорожник и весит метрическую тонну. Perseverance оснащен набором высокотехнологичных инструментов, 23 камерами, двумя микрофонами, лазером для испарения породы и специальной роторной ударной дрелью для сбора образцов. Имеет двухметровую роботизированную руку и питается от небольшой ядерной батареи

вероятно, что астронавты смогут доставить его на Марс в достаточном количестве, чтобы люди могли там дышать, не говоря уже о том, чтобы заправить космические корабли для долгого путешествия домой.

Уже скоро высокотехнологичное устройство марсохода будет вытягивать кислород из тонкой, богатой углекислым газом атмосферы Марса. MOXIE — сокращение от Mars OXygen In-situ Resource Utilization Experiment — будет генерировать небольшое количество кислорода из диоксида углерода в процессе электролиза.

ЦИАНОБАКТЕРИИ И КИСЛОРОД НА ЗЕМЛЕ

Нас ожидает неприятный сюрприз, если мы совершим путешествие на машине времени в далекое прошлое Земли, скажем, 2,4 млрд лет назад. Как рыба, выброшенная из воды, мы задохнемся. Увы, но, атмосфера ранней Земли была лишена кислорода. Только с развитием фотосинтезирующих организмов, таких как цианобактерии, содержание кислорода на Земле увеличилось.

Используя солнечный свет, эти крошечные организмы превращали воду и углекислый газ в сахара и в процессе выделяли кислород в качестве побочного продукта. До этого жизненные формы на Земле полагались на тепловую энергию из океанских жерл.

Первые искры фотосинтеза распространились подобно лесному пожару, и вся Земля была покрыта предками растений и деревьев, поглощающими углекислый газ. Последовала революция, получившая название Великого окислительного события (GOE). Таким образом, накопился молекулярный кислород, достигнув нынешнего уровня в 21 %.

ИСКУССТВЕННОЕ ДЕРЕВО ДЛЯ МАРСА

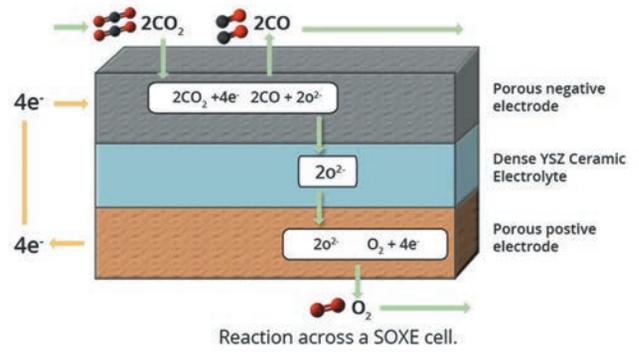
Без деревьев, растений и растительности атмосфера Марса, состоящая на 95,32 % из углекислого газа, сравнима с ранней Землей. При незначительном количестве кислорода и в 100 раз более тонкой атмосфере Марс, по крайней мере, суров и непривлекателен.

Этот эксперимент, запланированный как демонстрационный технологический проект, призван проверить новую технологию производства пригодного для дыхания кислорода и жидкого кислородного топлива для космических миссий на поверхности Марса. Возможно, однажды в далеком будущем та же самая технология сможет сделать всю планету пригодной для жизни, обогатив атмосферу кислородом.

Механизм, по которому работает MOXIE, сродни гидролизу воды, с которым мы знакомы по химии в средней школе. Электролизная ячейка использует электричество для разделения молекул воды (H_2O) на водород (H_2) и кислород (O_2), которые собираются на отрицательно заряженном электроде (катоде) и положительно заряженном электроде (аноде) соответственно.

Основная структура MOXIE состоит из керамического твердотельного электролита, помещенного между катодом из оксида металла и анодом.

Когда углекислый газ пропускают через электрод из оксида металла при высоких температурах (800–900 °C), используя электроны, обеспечиваемые катодом, он рас-



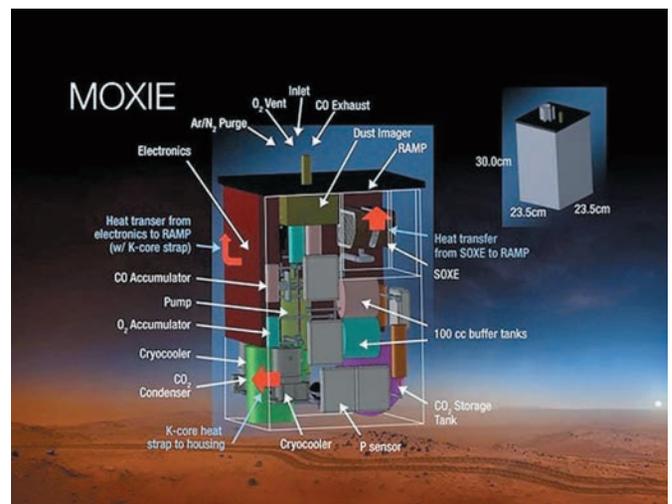
Ячейка для электролиза твердых оксидов. Точно так же, как крошечные сине-зеленые цианобактерии, твердооксидная электролизная ячейка (SOEC) на борту марсохода Perseverance будет поглощать углекислый газ и выделять небольшое количество кислорода

щепляется на монооксид углерода и анион кислорода. Ион кислорода проникает в поры керамического электролита и мигрирует к аноду под действием электрического поля. Атомы кислорода объединяются на аноде в молекулы кислорода и в процессе высвобождают электроны. Во время электролиза окись углерода накапливается на катоде, а молекулы кислорода — на аноде.

Процесс непростой. Выталкивание для разрушения диоксида углерода должно быть откалибровано, чтобы убедиться, что диоксид углерода расщепляется на оксид углерода и кислород, а не на углерод и кислород. Накопление углерода является помехой и может разрушить систему.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КИСЛОРОДА

Вся система состоит из трех основных компонентов. Компрессор собирает и концентрирует марсианский воздух примерно до плотности воздуха у поверхности Земли. Электролизная ячейка электрохимически расщепляет диоксид углерода на кислород и монооксид углерода.



Размещение компонентов внутри кислородного генератора MOXIE. Робот размером с автомобильный аккумулятор — это модель устройства в масштабе примерно 1:100, которое ученые надеются однажды отправить на Марс, возможно, в 2030-х гг. (NASA/ Wikimedia Commons)

Наконец, датчики, особенно в выхлопном приборе, контролируют чистоту кислорода, выводимого обратно в атмосферу Марса вместе с оксидом углерода и другими продуктами выхлопа.

Электричество необходимо как для нагрева катода, так и для подачи напряжения для электролиза. Многоцелевой радиоизотопный термоэлектрический генератор (MMRTG), ядерная батарея, обеспечивает необходимую мощность.

Сердцем MMRTG является радиоактивный плутоний-238. Когда плутоний-238 естественным образом распадается, он выделяет тепло. Набор термпар обеспечивает преобразование тепла, выделяемого при распаде, в электричество.

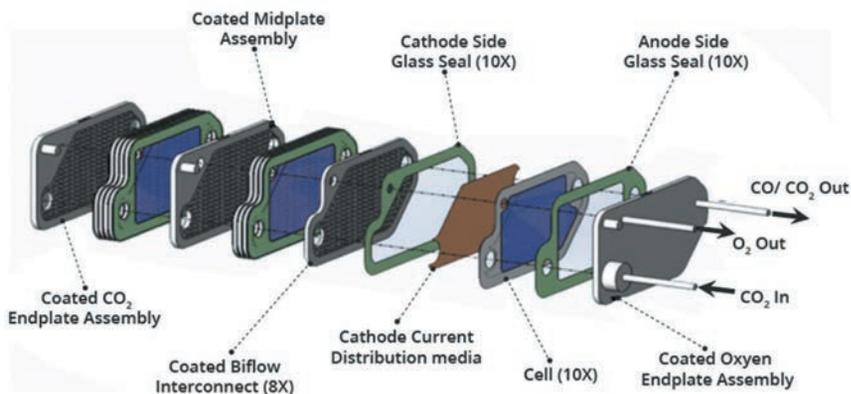
Используя мощность 300 Вт и работая при 800 градусах Цельсия, MOXIE будет производить около 10 граммов кислорода в час. Для сравнения, среднему взрослому человеку для дыхания требуется около 20 г кислорода в час. Оборудование будет работать около двух часов, из которых один час эффективного производства кислорода на эксперимент. Эксперимент будет проводиться с перерывами на протяжении всей миссии.

МАРС ГОТОВИТСЯ К ПРИЛЕТУ ЛЮДЕЙ

Поскольку MOXIE — это небольшой эксперимент, подтверждающий концепцию, он не будет производить много кислорода — если все пойдет хорошо, он должен производить около 10 граммов в час, что примерно равно количеству кислорода в 1,2 кубических футах земного воздуха. Для контекста, людям нужно около 19 кубических футов воздуха в день.

По данным NASA, MOXIE проверит свои возможности, производя кислород с интервалом в один час с перерывами на протяжении всей миссии Perseverance.

Помимо производства в более крупных масштабах для жизнедеятельности людей, путешествующих по миру, кислород также необходим для ракетного топлива для обратного полета на Землю. Для запуска с Марса возвратным ракетам потребуется от 33 до 50 тонн топлива. Сам кислород будет составлять 78 % массы топлива в метано-кислородной топливной смеси. Вместо того чтобы таскать



MOXIE — это размер автомобильного аккумулятора. Будущие генераторы кислорода, поддерживающие полеты людей на Марс, должны быть примерно в 100 раз больше. Используя несколько электролизеров в одной системе, выход кислорода можно увеличить до желаемого уровня

с собой этот лишний багаж в дальнейшем путешествии, на Марсе можно было бы приготовить жидкий кислород в качестве топлива.

Писатели-фантасты предполагают, что в будущем в качестве первого шага на Красную планету будут отправлены небольшой ядерный реактор вместе с увеличенной версией прибора MOXIE. Работая в режиме 24,5 × 7 («день» на Марсе, называемый «сол», немного длиннее, чем продолжительность дня на Земле), кислородный баллон наполняется для подготовки посетителей-людей. Когда прибывают исследователи, источник энергии, топливо для обратного пути и инфраструктура жизнеобеспечения уже на месте.

Хотя человеческие путешествия еще далеко, в краткосрочной перспективе эта технология может стать благом для роботизированных миссий по возвращению, например, для возвращения образцов с Марса. MOXIE также является небольшим шагом к плану «Использование ресурсов на месте» (ISRU).

С помощью новых технологий, таких как 3D-печать и аддитивное производство, использование ресурсов на месте можно расширить, получая не только кислород, но и другие материалы. Вместо того чтобы привозить материалы с Земли, можно удовлетворить значительную часть потребностей за счет ресурсов на месте.

Но, для того чтобы все это произошло, пройдет еще много времени и предстоит большой труд ученых.

