

# THE POWER ENGINEERING OF MARTIAN COLONIES

# ЭНЕРГЕТИКА МАРСИАНСКИХ КОЛОНИЙ



**Alexander O. MAYBORODA,**  
CEO, LLC "AVANTA-Consulting" Research Company,  
Rostov-on-Don, Russia,  
[mayboro@gmail.com](mailto:mayboro@gmail.com)



The author of pictures – Alexander Mayboroda  
Graphics – Dmitry Anisimov

**Александр Олегович МАЙБОРОДА,**  
директор научно-исследовательской компании  
ООО «АВАНТА-Консалтинг», Ростов-на-Дону, Россия,  
[mayboro@gmail.com](mailto:mayboro@gmail.com)

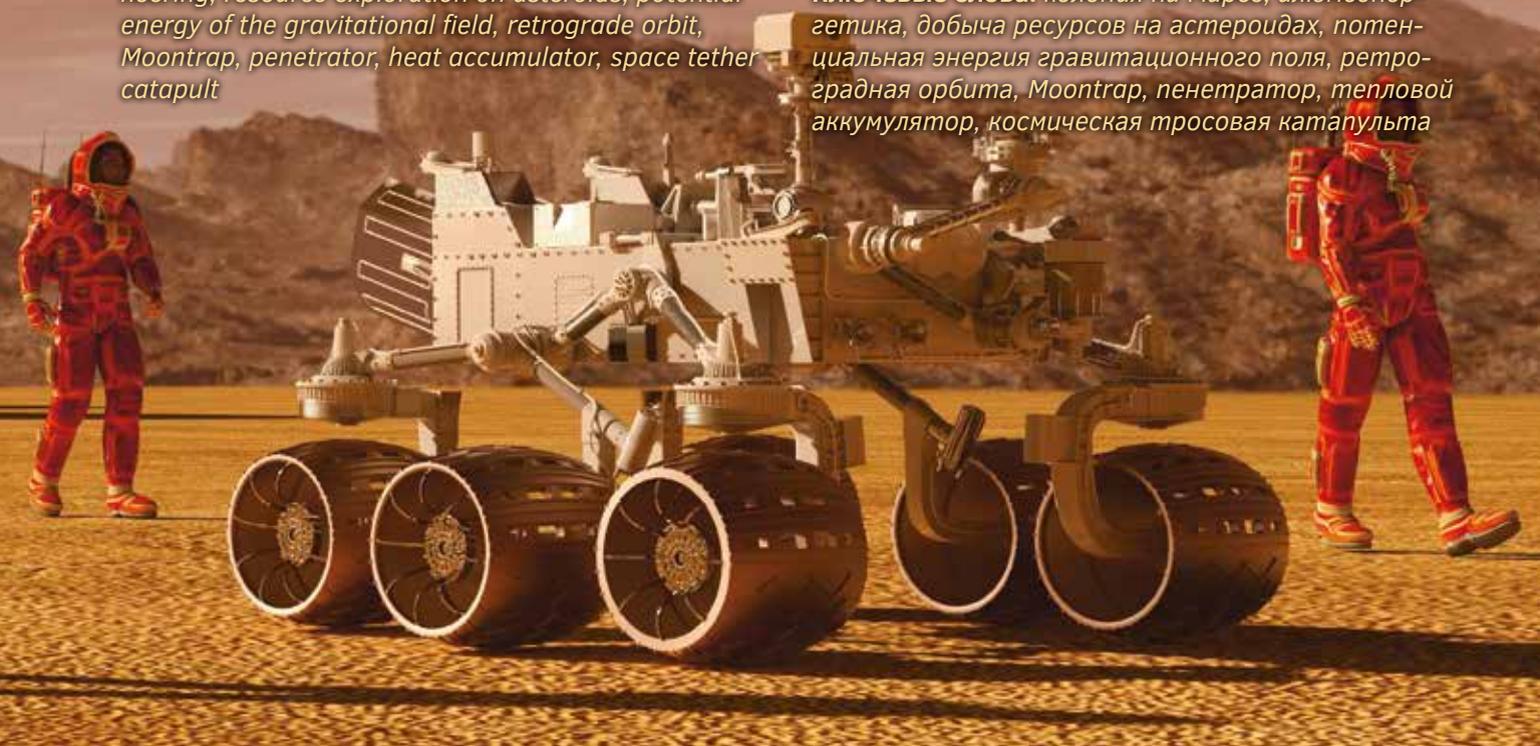
Автор рисунков – Александр Майборода  
Графика рисунков – Дмитрий Анисимов

**ABSTRACT** | The energy supply of research and industrial bases, aircraft and wheeled vehicles on Mars based on aluminum-magnesium energy – the use of metals as fuel suitable for atmospheres from carbon dioxide – is considered. It is beneficial to supply the colonies with metal fuel from industrial bases located on Phobos and Deimos and fueled by their mechanical energy supplies. The satellites of Mars are composed of silicate rocks rich in carbon, which provides the bases with raw materials for metallurgy. Practically inexhaustible reserves of potential energy of Phobos and Deimos in the gravitational field of Mars can be utilized in order to process the satellites' mineral resources. Technological options are proposed for converting the mechanical energy of satellites into heat and electricity. The energy output is 63 times more than the costs of its extractio.

**Keywords:** *colony on Mars, aluminum power engineering, resource exploration on asteroids, potential energy of the gravitational field, retrograde orbit, Moontrap, penetrator, heat accumulator, space tether catapult*

**АННОТАЦИЯ** | Рассматривается энергоснабжение исследовательских и промышленных баз, авиационных и колесных транспортных средств на Марсе на основе алюмомагниевого энергетика – применения металлов в качестве горючего, подходящего для атмосферы из углекислого газа. Снабжение колоний металлическим горючим выгодно осуществлять с промышленных баз на Фобосе и Деймосе, работающих за счет запасов механической энергии марсианских лун. Спутники Марса состоят из пород, богатых углеродом, что обеспечивает базы сырьем для металлургии. Практически неисчерпаемые запасы потенциальной энергии Фобоса и Деймоса в гравитационном поле Марса могут быть утилизированы в целях переработки минеральных ресурсов спутников. Предлагаются варианты технологии по преобразованию механической энергии спутников в тепловую и электрическую. Выход энергии превышает затраты на ее извлечение в 63 раза.

**Ключевые слова:** *колония на Марсе, алюмоэнергетика, добыча ресурсов на астероидах, потенциальная энергия гравитационного поля, ретроградная орбита, Moontrap, пенетратор, тепловой аккумулятор, космическая тросовая катапульта*



## ВВЕДЕНИЕ

Тема создания обитаемых баз на Марсе сохраняет свою актуальность. У будущих переселенцев, наряду с проблемами перелета, много нерешенных проблем с энергетическим обеспечением. У землян есть нефть, газ и уголь. А марсианские колонисты, даже если изыщут запасы углеводородов, не смогут использовать их в атмосфере из углекислого газа. На Марсе нет свободного кислорода, его надо получать искусственно – тратить энергию из других источников. Такими возможными источниками на данный момент считаются фотоэлектрические преобразователи и ядерные электростанции.

Для транспортных средств колонистов — ракет, самолетов и роверов — эквивалентами нефти, газа и угля будут алюминий и магний: они хорошо горят в атмосфере из углекислого газа [1]. Вода, которая в изобилии имеется на Марсе, также поддерживает горение этих металлов. Тем не менее алюминий и магний придется получать искусственно, так как на Марсе нет естественных залежей этих химически активных металлов. Энергию для производства металлического топлива придется получать от солнечных и ядерных электростанций. В условиях Марса такие источники энергии не самые лучшие — есть и другие возможности. Проект Martian Powerlune показывает новые перспективы.

### УТИЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ, АККУМУЛИРОВАННОЙ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ МАРСА, ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ БАЗ

Солнечный свет на Марсе — неэффективный источник энергии. Здесь солнечное излучение в 2,5 раза слабее, чем на Земле. Длительные пылевые бури еще больше ухудшают возможности использования солнечного света, осложняя эксплуатацию ветровой эрозией и запылением солнечных батарей. Долговременное присутствие людей на Марсе солнечные батареи обеспечат, но не будут способствовать быстрому развитию колоний. С большим эффектом солнечный свет мог бы утилизироваться на спутниковых солнечных электростанциях (ССЭС), аналогичных станциям, которые разработаны для Земли [2]. Производимая ССЭС энергия может вырабатываться и транслироваться на поверхность Марса к базам колонистов оптоволоконными лазерами с солнечной накачкой — низкая плотность атмосферы позволя-

ет реализовать такой высокоэффективный способ.

С позиции расширения присутствия людей на Марсе применение ядерных энергоустановок также будет сдерживающим фактором. Месторождения сырья для ядерного топлива неизвестны, поэтому колонии будут нуждаться в поставках с Земли. Возможно, ядерная энергия с большей эффективностью применялась бы на Марсе в виде промышленных «подземных» ядерных взрывов, на основе лунного проекта Краффта А. Эрике [3]. Один такой «подземный» взрыв обеспечит марсианскую колонию дешевыми запасами кислорода, кремния и металлов в количестве более 10 000 тонн. Не все ядерные государства подписали соглашение о запрете ядерных испытаний в космосе, поэтому взрывная ядерная энергетика возможна на Марсе.

Ядерные взрывы под марсианской поверхностью могут быть заменены экологически безопасными ударами пенетраторов, которые изготовлены из вещества астероидов и спутников Марса и применяются по технологии Moontrap, разработанной для Луны и других спутников планет Солнечной системы [4]. Мощность ударов космических пенетраторов соизмерима с мощностью тактических ядерных зарядов, но может быть сильно минимизирована для локального промышленного применения.

Удары пенетраторов по технологии Moontrap могут быть с лучшим эффектом и удобством применены не на Марсе, а на Фобосе и Деймосе. Отсутствие атмосферы устраняет аэродинамические и другие помехи для прецизионного наведения пенетраторов на мишень. За счет кинетической энергии пенетраторов, переданной мишени, выделяется тепло, которое используется для производства электроэнергии и термохимической переработки сырья Фобоса и Деймоса. Продукция в виде алюминия, магния, железа, кремния, графита и полимера диоксида триуглерода переправляется к колонистам – сбрасывается в одноразовых капсулах на Марс. Для этого используются термозащитные капсулы с аэродинамическим

**ДЛЯ ДОБЫЧИ ЭНЕРГИИ С БОЛЬШИМ УДОБСТВОМ МОГУТ БЫТЬ ПРИМЕНЕНЫ НЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ НА МАРСЕ, А ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ УДАРЫ ПЕНЕТРАТОРОВ НА ФОБОСЕ И ДЕЙМОСЕ. ОТСУТСТВИЕ АТМОСФЕРЫ УСТРАНЯЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ДРУГИЕ ПОМЕХИ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО НАВЕДЕНИЯ ПЕНЕТРАТОРОВ НА МИШЕНЬ.**

**Рис. 1.** Энерготранспортная система Moontrap на лунах Марса



качеством для управляемого спуска, которые изготовлены из местных материалов – пенокерамики из кремнезема, углерода и металлов. Избытки энергии также транслируются на Марс лазерным излучением. При этом затраты энергии на высвобождение потенциальной энергии вещества Фобоса и Деймоса, запасенной природой в гравитационном поле Марса, составляют всего несколько процентов от полученной энергии.

Экзотермические реакции, подходящие для энергоснабжения колоний на Марсе на основе продукции, поставляемой промышленными базами на Фобосе и Деймосе:

- алюминий или магний плюс углекислый газ;
- алюминий или магний плюс вода;
- алюминий или магний плюс магнетит или гематит;
- кремний плюс магнетит или гематит;

- монооксид углерода плюс магнетит или гематит;
- монооксид кремния плюс углерод.

В энергобаланс колоний основной вклад, по-видимому, будет вносить алюмоэнергетика. Порошковый алюминий – удобный вид горючего для вездеходов, марсианских самолетов и гиперзвуковых челночных аппаратов. На маршрутах движения при помощи планирующих капсул создаются участки-склады металлического горючего.

Основа извлечения потенциальной энергии спутников Марса – регулярные запуски грузовых космических аппаратов (КА) с баз Фобоса и Деймоса на ретроградные орбиты. Аппарат выводится на высокоэллиптическую орбиту и в апоцентре (на границе сферы действия Марса) с минимальными затратами импульса меняет направление движения на противоположное. В перигентре ретроградной ор-

биты происходит сближение КА с Фобосом или Деймосом. Груз в виде пенетратора направляется на мишень – ловушку пенетраторов и сбрасывается.

Ловушка (коллектор) заполнена углеродосодержащим реголитом и является высокотемпературным аккумулятором тепла. Теплообменная система теплового аккумулятора испаряет рабочее тело, которое приводит в движение турбогенератор, подключенный к потребителям электроэнергии. Схема работы энергосистемы показана на рис. 1.

КА движется навстречу спутнику с относительной скоростью, приблизительно в 2,4 раза превышающей местную круговую, тогда как его запуск совершается со скоростью, которая приблизительно на 0,4 раза больше местной круговой. Разница в кинетической энергии положительна – система производит больше энергии, чем затрачи-

вает. КА без груза совершает обратный маневр – переходит с ретроградной орбиты на проградную и возвращается на базу для перезарядки. Без учета потерь на смену направления орбит в апоцентре энергетический выигрыш превышает затраты в 36 раз в случае системы с одним спутником. В системе с двумя спутниками выигрыш возрастает – до 63 раз превышает затраты.

Расход ракетного топлива на старт грузовых КА со спутников Марса существенно сокращается

при использовании разработки Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) – тросовой прачи, варианта механической катапульты для разгона и торможения КА на околоземной орбите. [5]. Проект ИКИ РАН обеспечивает изменение скорости КА на величину до 2000 м/с. Катапульты, размещенные на спутниках Марса, проще в исполнении и обслуживании, чем варианты с орбитальным базированием. Требуемые скорости запуска – 522 и 861 м/с.

В качестве ракетного топлива возможно применение пероксида водорода и синтезированного из метана высококипящего углеводородного горючего, аналогичного синтину или RJ-5. Эти компоненты топлива длительного хранения могут быть получены из местного сырья – гидросиликатов, богатых углеродом. Свойства компонентов соответствуют условиям длительного полета КА к условной границе сферы действия Марса.

### СИСТЕМЫ ДЕЙМОС – ДЕЙМОС И ФОБОС – ФОБОС

Старт с Деймоса к границе сферы действия Марса требует прироста скорости в 522 м/с (1873 м/с — 1351 м/с). В апоцентре на расстоянии 578 тыс. км (от барицентра) скорость КА — 76 м/с. Здесь КА полностью тормозится реактивными двигателями, а затем разгоняется в противоположную сторону. Изменив скорость

в итоге на 152 м/с, КА переходит на ретроградную орбиту. В перигентре орбиты он идет навстречу Деймосу с относительной скоростью 3224 м/с (1873 м/с + 1351 м/с), сбрасывает груз в форме пенетратора в ловушку на Деймосе и в обратной последовательности возвращается на перезарядку. Тепловой бонус — 5,2 МДж/кг. Схе-

ма работы системы показана на *рис. 2а*.

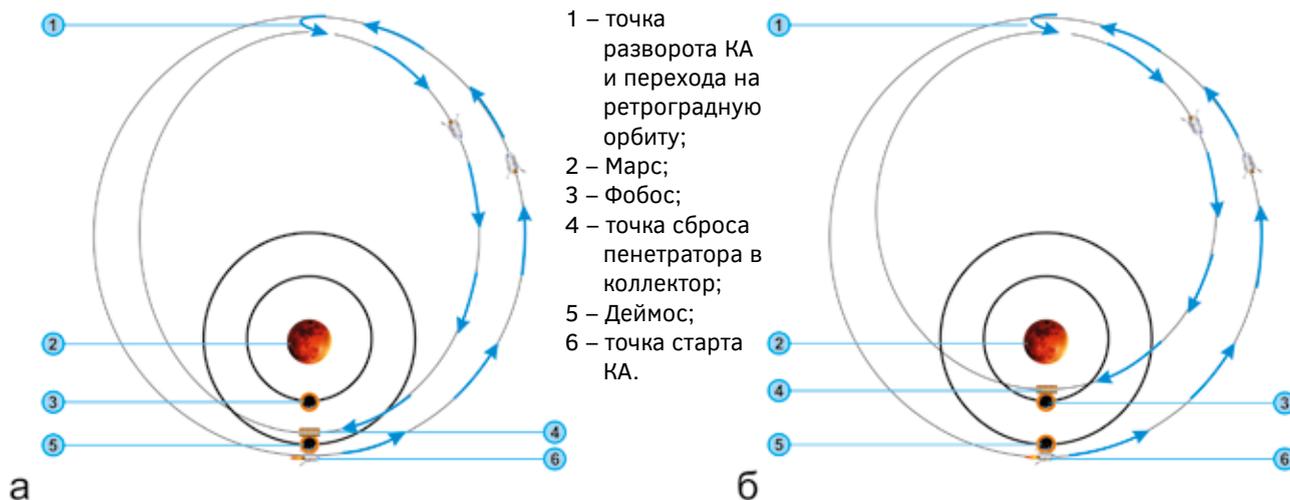
Аналогичная система также реализуема на Фобосе. Стартовая скорость 861 м/с (2998 м/с – 2137 м/с). В апоцентре – 49 м/с. В перигентре столкновение с относительной скоростью 5135 м/с (2998 м/с + 2137 м/с). Бонус – 13,18 МДж/кг.

### СИСТЕМА ДЕЙМОС – ФОБОС

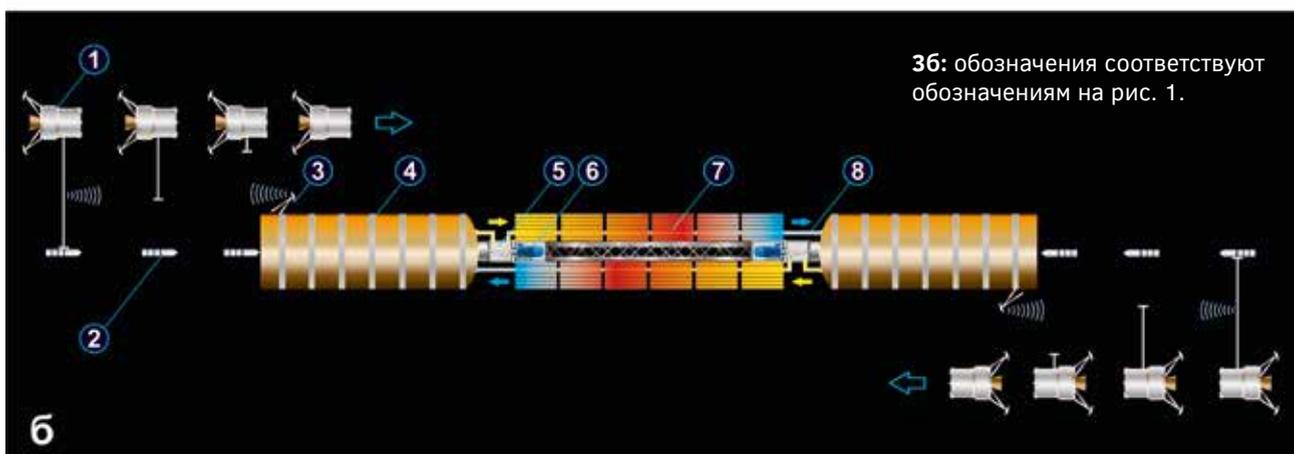
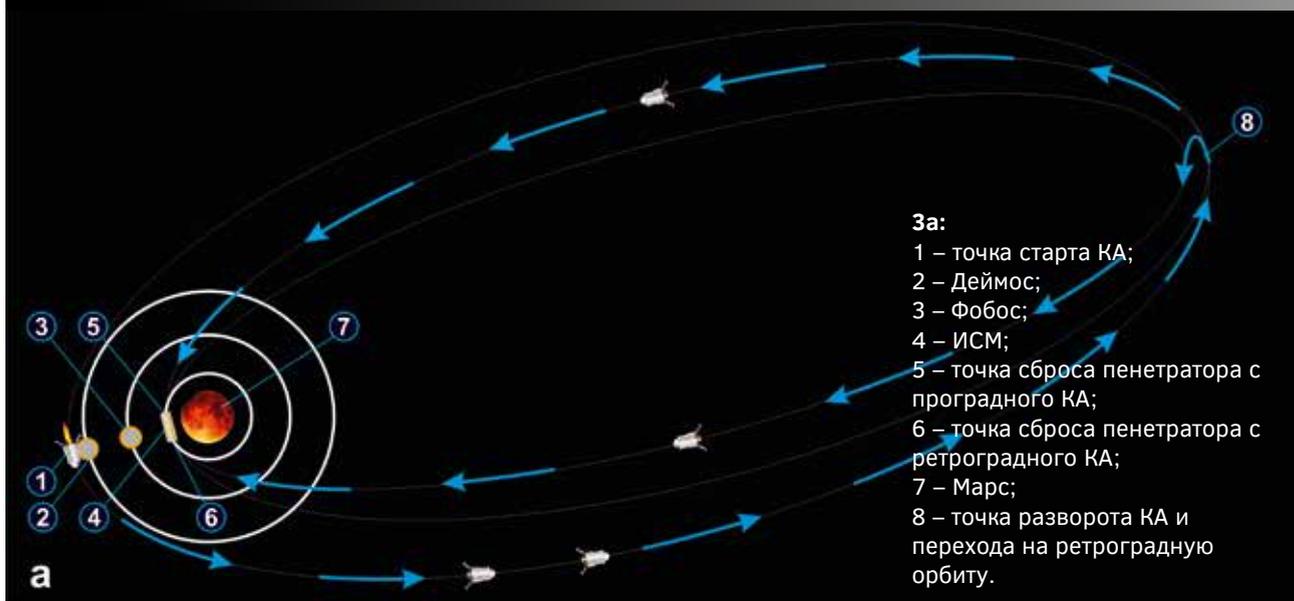
Старт с Деймоса к границе сферы действия Марса производится со скоростью 522 м/с. В апоцентре КА выдает тормозной импульс — 76 м/с — и обнуляет орбитальную скорость. Добавочный импульс в 49 м/с переводит КА на ретроградную орбиту, ведущую к Фобосу. Суммарный импульс

на смену орбиты составляет 125 м/с. В перигентре орбиты он идет навстречу Фобосу с относительной скоростью 5135 м/с и сбрасывает пенетратор в ловушку. Тепловой бонус — 13,18 МДж/кг. Выход энергии в 63 раза превышает затраты. Схема работы системы показана на *рис. 2 б*.

**Рис. 2.** Системы Деймос – Деймос и Деймос – Фобос:



**Рис. 3.** Система Деймос – ИСМ



### СИСТЕМА ДЕЙМОС/ФОБОС – ИСКУССТВЕННЫЙ СПУТНИК МАРСА

Работа системы основана на сбросе грузов с базы на Деймосе на коллектор грузов, размещенный на круговой орбите искусственного спутника Марса (ИСМ) высотой 500 км. Скорость ИСМ — 3318 м/с. Сброс грузов происходит с двух направлений — с ретроградной орбиты и с проградной. Старт с Деймоса, как обычно, происходит со скоростью 522 м/с. При столкновении пенетратора с ловушкой грузов на ИСМ результирующая скорость столкновения равна 7995 м/с (4677 м/с + 3318 м/с) при движении

КА по ретроградной орбите. При столкновении на проградной орбите результирующая скорость равна 1359 м/с (4677 м/с — 3318 м/с). Для обеспечения равенства импульсов на каждый 1 кг грузов, поглощенных ловушкой от ретроградного КА, приходится 5,883 кг грузов от проградного КА. Выделение тепла от грузов, поступающих с ретроградной орбиты — 31,96 МДж/кг. Среднее тепловыделение от грузов с обеих орбит составляет 5,433 МДж/кг. Схема работы показана на рис. 3.

Орбитальный коллектор способен дополнительно принимать груз с Фобоса. Передача грузов с промышленных баз естественных спутников Марса на ИСМ является частью транзита продукции из космоса для колоний на Марсе. В перспективе, при возможном открытии какого-либо ценного ресурса и возникновении необходимости недорогого экспорта с Марса, ИСМ с коллектором способен принимать грузы, забрасываемые суборбитальными ракетами.

## ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ СПУТНИКОВ МАРСА

Известные способы выделения алюминия и магния основаны на электролизе их соединений. Использование электроэнергии на первом этапе промышленного освоения космических ресурсов нежелательно из-за большой массы оборудования. Для магния существует и другой способ получения — термический, требующий более простой аппаратуры. В этом случае для восстановления оксида магния при высокой температуре используют кремний или углерод. Реакция с кремнием требует нагрева до 1100–1200 °С, с углеродом — больше 2000 °С. Такой неэлектрический способ полностью подходит для технологии получения тепла в системе Moontrap.

Получение алюминия термическим способом на основе восстановления его окиси углеродом, однако, дает в основном карбид алюминия, а не металл. Получения алюминия из карбида возможно при реакции с водородом при температуре 2200 °С, что также соответствует возможно-

стям системы Moontrap. Вместе с тем карбид алюминия также может использоваться в двигателях марсианского транспорта вместо алюминия при реакциях с  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . На межорбитальных буксирах, обеспечивающих перемещение грузов между спутниками Марса, порошок карбида алюминия может использоваться как горючее в паре с пероксидом водорода.

Производство кремния на базах лун Марса также актуально, так как колесные транспортные средства на поверхности планеты могут использовать кремний в топках двигателей. Окисление кремния возможно за счет кислорода, содержащегося в оксидах железа из марсианской почвы. На марсианских спутниках промышленное восстановление кремния из его оксидов возможно местным углеродом при температуре около 1800 °С за счет тепла, образуемого в системе Moontrap. Возможности промышленного производства горючего для

марсианских баз подтверждаются данными о составе Фобоса и Деймоса. Космический аппарат «Фобос-2» зафиксировал стабильные выбросы газа с Фобоса. Фобос самый темный из известных планетных спутников. Вероятно, Фобос — это астероид, состоящий из смеси льда и темных богатых углеродом скальных пород С-типа. На Деймосе толстый слой пыли покрывает всю поверхность спутника. Плотности спутников столь низки, что они, вероятно, являются смесью скал и льда. Длительные споры о химическом составе спутников Марса на основе спектральных характеристик благодаря экспериментам с модельным грунтом разрешились в пользу предположения об их составе из углистых хондритов типа CM и, возможно, CI [6]. В основе пород спутников находятся гидросиликаты и соединения металлов — это ресурсы, продукты переработки которых спутниковые промышленные базы дадут колониям на Марсе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование потенциальной энергии планетных спутников решает проблему энергообеспечения станций и баз, значительно удаленных от Солнца. Система утилизации потенциальной энергии естественных спутников, аккумулированной в гравитационном поле планет, может работать не только за счет энергии Фобоса и Деймоса, но и энергии Луны, накопленной в земном гравитационном поле. В марсианской системе выход энергии в 63 раза превышает затраты, а в околоземной лунной системе — в 9 раз. Соответственно, освоение лунных марсианских энергетических ресурсов в 7 раз выгоднее освоения лунных околоземных.

Системы лун Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна изначально имеют группы спутников, обращающихся по ретроградным орбитам. Поэтому ресурсы планет-гигантов самой природой подготовлены для легкого промышленного использования. Там использование солнечной энергии затруднено, а эксплуатация ядерных электро-

станций осложнена отсутствием разведанных месторождений ядерного топлива. К примеру, в системе лун Юпитера скорость пенетратора со спутника Эрейне относительно коллектора на спутнике Метида составляет 75,31 км/с, что дает эквивалент 96,8 т условного топлива на 1 т массы пенетратора или в тротиловом эквиваленте 678 т ТНТ. При этом энергозатраты составляют всего 0,016% от результата. Таким образом, энергосистема Powerlune и транспортная Moontrap на первых этапах колонизации космоса станут основой внеземных колоний.

Промышленные базы на лунах Марса способны стать опорой индустриализации Луны. Углерод на Луне — дефицитное сырье. Поставлять его с Земли на порядки дороже поставок с Фобоса и Деймоса. При необходимости лунный алюминий и магний также могут отправляться прямо на Марс. Таким образом, экономика космоса может сложиться как товарообмен внутри тетрады колоний Луны, Фобоса, Деймоса и Марса.



## Литература

1. **Демидов С.С., Малинин В.И., Бульбович Р.В.** Ракетный двигатель на порошкообразном алюминиевом горючем и углекислом газе в качестве окислителя // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2014. № 36, С. 119-130.
2. Космические солнечные электростанции – проблемы и перспективы: монография / **Г.Г. Райкунов, В. А. Комков, В. К. Сысоев, В. М. Мельников**; под ред. Г. Г. Райкунова. М.: РУДН, 2017. 282 с.
3. **Крафт А. Эрике.** Будущее космической индустрии: Пер с англ. – М.: Машиностроение, 1979. 200 с.
4. **Майборода А.О.** Как создать лунную базу и орбитальную станцию на 80% дешевле // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 1. С. 22–31.
5. **Сидоров И.М.** Применение тросовых систем для выполнения транспортных операций в космическом пространстве. Доклад // Институт космических исследований – 24.11.1999. URL: [http://www.iki.rssi.ru/seminar/199911\\_sid.htm](http://www.iki.rssi.ru/seminar/199911_sid.htm)
6. **Шингарева Т.В.** Геологическое строение и вещественный состав Фобоса. Автореферат диссертации. Москва, 2009.

## References

1. **Demidov S.S., Malinin V.I., Bul'bovich R.V.** Raketnyy dvigatel' na poroshkoobraznom alyuminievom goryuchem i uglekislom gaze v kachestve okislitelya. Vestnik PNIPU. Aerokosmicheskaya tekhnika, 2014, no. 36, pp. 119-130.
2. **Raykunov G.G., Komkov V.A., Sysoev V.K., Mel'nikov V.M.** Kosmicheskie solnechnye elektrostantsii – problemy i perspektivy. Ed. G.G. Raykunov. Moscow, RUDN, 2017. 282 p.
3. **Krafft A. Erike.** Budushchee kosmicheskoy industrii. Moscow, Mashinostroenie, 1979. 200 p.
4. **Mayboroda A.O.** Kak sozdat' lunnuyu bazu i orbital'nuyu stantsiyu na 80% deshevle. *Vozdushno-kosmicheskaya sfera*, 2018, no. 1, pp. 22-31.
5. **Sidorov I.M.** Primenenie trosovykh sistem dlya vypolneniya transportnykh operatsiy v kosmicheskom prostranstve. Doklad. Institut kosmicheskikh issledovaniy, Moskva, 24.11.1999. Available at: [http://www.iki.rssi.ru/seminar/199911\\_sid.htm](http://www.iki.rssi.ru/seminar/199911_sid.htm) (Retrieval date: 30.11.2019).
6. **Shingareva T.V.** Geologicheskoe stroenie i veshchestvennyy sostav Fobosa. Avtoref. diss. ... kand. geologo-mineralogicheskikh nauk. Moscow, 2009. 27 p.



© Майборода А.О., 2019

### История статьи:

Поступила в редакцию: 18.10.2019  
Принята к публикации: 20.11.2019

Модератор: Гесс Л.А.

Конфликт интересов: отсутствует

### Для цитирования:

Майборода А.О. Энергетика марсианских колоний // Воздушно-космическая сфера. 2019. №4. С. 38-45.