

# «Moontrap» – метод создания баз на Луне, Марсе и его лунах

Александр Майборода  
директор научно-исследовательской компании AVANTA-consulting  
Московский космический клуб  
3 октября 2017

## Введение

Почти полвека прошло с момента посещения Луны. Однако, множество проектов создания форпоста человечества на Луне так и остались в чертежах – слишком дорога их реализация. В исследовании 2009 года Центр стратегических и международных исследований (Center for Strategic and International Studies) предположил, что лунная база будет стоить 35 миллиардов долларов на строительство и 7,35 миллиарда долларов в год на содержание [1].

Доставка грузов на Луну сегодня более чем в 10 раз дороже доставки грузов на низкую околоземную орбиту (НОО) и в 3 раза дороже доставки на околоземные астероиды группы NEA. По расчетам РКК «Энергия» удельная стоимость доставки полезного груза на орбиту Луны с помощью разгонного блока с ЖРД типа ДМ (по данным на 2011 год) составила 52 тыс. долл./кг. Соответственно, обратный полет с Луны на Землю корабля с экипажем будет дороже в 4-6 раз, то есть будет иметь удельную стоимость 200-300 тыс. долл./кг.

Очевидно, что пока стоимость доступа в космос не снизится, ситуация с базой не улучшится.

При имеющемся уровне развития ракетно-космической техники промышленные базы выгодно создавать на астероидах, а не на Луне. В планах частных компаний, декларирующих добычу платиноидов и редкоземельных металлов вне Земли на первом месте астероиды. Бизнес-планы по разработке ресурсов Луны вызывают меньший интерес.

Вместе с тем до Луны и обратно неделя полета, тогда как для посещения астероидов группы NEA требуются годы. С позиции инвесторов из-за возможности быстрой амортизации оборудования разработка лунных месторождений более перспективна, чем разработка астероидных рудников.

На Луне есть много чего ценного. На ней как на астероидах есть запасы редкоземельных металлов. Есть и уран, и платиноиды. Луна – это своего рода кладбище астероидов. В течение миллиардов лет, те же астероиды с ценными металлами бомбардировали поверхность Луны, так что можно не гоняться за астероидами, тратя годы на путешествие к ним, а достаточно хорошо поискать под слоем реголита осколки металлических астероидов. А для поисков нужна база.

Если стоимость доставки грузов на Луну уравнивается с затратами на его доставку к астероидам, то из-за меньшего времени достижения Луны и, соответственно, в среднем в сто раз более быстрого оборота капитала, разработка лунных ресурсов станет также привлекательной для инвесторов. *Технология, способная решить такую задачу имеется* [2]. В составе более широкой группы технологий Sattrap (Orbitron) экспертизой WIPO она признана имеющими мировую новизну и промышленную применимость.

## Технология Moontrap - Луна

Речь идет о технологии **Moontrap** компании AVANTA – технологии доставки без ракетного торможения [3]. Первым грузом, доставленным на Луну, был вымпел, сброшенный космическим аппаратом (КА) «Луна-2» (1959). Посадка была жесткой, но именно поэтому энергетически эффективной, по сравнению с мягкой посадкой, совершаемой за счет торможения ракетными двигателями. Жесткая посадка происходит на скорости 2500-3000 м/с. Это удар, при котором груз плавится и частично испаряется. Поэтому, до настоящего времени всегда рассматривался способ безударной, мягкой посадки КА, хотя он значительно дороже – запас ракетного топлива многократно уменьшает массу груза в ракете. Велика масса и посадочного модуля.

Например, доля полезного груза космического аппарата (КА) «Луна-17» составила всего 13,5% от массы КА перед началом торможения, а доля полезного груза КА «Луна-21» составила 14,7%. А существующем еще только в проекте тяжелом посадочном КА Altair Lunar Lander доля полезного груза составит 23,6%. В итоге на Луну доставляется 15-25 процентов от первоначальной массы посадочного модуля перед торможением. Таким образом, *при использовании жесткой посадки массу грузов можно увеличить в 4-6 раз и, соответственно, на 75-85% сократить цену доставки на участке торможения по сравнению с ракетными модулями мягкой посадки. С учетом стоимости устраняемой посадочной ступени сокращение превысит 90%.*

*Относительно старта с НОО стоимость сократится в 3 раза, и достижение Луны станет дешевле полетов на околоземные астероиды. Технология **Moontrap** устраняет экономические барьеры на пути создания обитаемой базы: с 52 тыс. долл./кг затраты на поставки ракетного топлива и обеспечение взлетно-посадочных модулей ракетным топливом сокращаются до 17 тыс. долл./кг.*

Насколько необходим способ безударной доставки грузов при строительстве базы? Все ли грузы необходимо доставлять таким дорогим способом? Большая часть грузов – это топливо для возвращения экипажа и расходные материалы: кислород, вода, углеводороды и другие реагенты для обработки реголита. Эти грузы не нуждаются в мягкой посадке.

Теперь, как полагают некоторые проектанты, не обязательно доставлять готовое оборудование на внеземные базы – за прошедшие полвека многое изменилось, так как появились аддитивные технологии. Академик РАН Эрик Галимов по поводу перспектив аддитивной технологии на Луне замечает: *«С Земли есть смысл везти только то, что нецелесообразно делать на Луне: электронику, блоки управления. Это не так много весит. А вот титановый корпус хоть на 50 тонн там можно сделать автоматически – сегодня у нас есть 3D-принтеры. На Луне достаточно поставить солнечные батареи, чтобы получить нужную энергию для запуска производства».*

Если обеспечить добычу сырья, то космические 3D-принтеры прямо на месте напечатают корпуса жилых и технологических модулей, изготовят ракетные двигатели, топливные баки, космические аппараты и корабли. В итоге затраты на доставку грузов сокращаются. Однако, для изготовления базы за счет местного сырья требуется доставка на Луну технологических модулей, способных выделить из реголита металлы, кремний и кислород.

Из-за большой массы модулей на первом этапе строительства использование местного сырья не эффективно. Например, в российском проекте масса модуля, обеспечивающего выработку ракетного топлива из местных ресурсов, равна 30 т, а это половина проектной массы базы [4]. Соответственно, масса модуля для производства конструкционных материалов тоже будет порядка 30 т, что не снижает транспортные затраты. Поэтому требуется иное решение.

Предлагаемое решение – технологии **Moontrap**, доставка с Земли металлов, воды и другого сырья методом жесткой посадки. *Извлечение этих грузов из лунного грунта и преследующая отливка в готовые изделия требует затрат энергии в 10-100 раз меньше, чем при производстве металлов из реголита.* Например, производство алюминия из реголита требует 20 кВт·ч/кг, что в 180 раз больше энергии, необходимой для расплавления готового алюминия, извлеченного из камуфлетов, производство титана – 30 кВт·ч/кг, что в 275 раз больше энергии, необходимой для расплавления готового титана. А вот после превращения этого сырья в новые 3D-принтеры, конструкции и агрегаты базы, в кислород и ракетное горючее, можно будет перейти к использованию ресурсов Луны. В этом варианте на Луну методом мягкой посадки доставляется только набор 3D-принтеров для печати частей и агрегатов базы и оборудование по приему-накоплению земного сырья и энергоснабжению, что составит **1-3%** от общей массы грузов. А большая часть грузов – **97-99%**, являющихся сырьем, доставляется недорогим методом жесткой посадки.

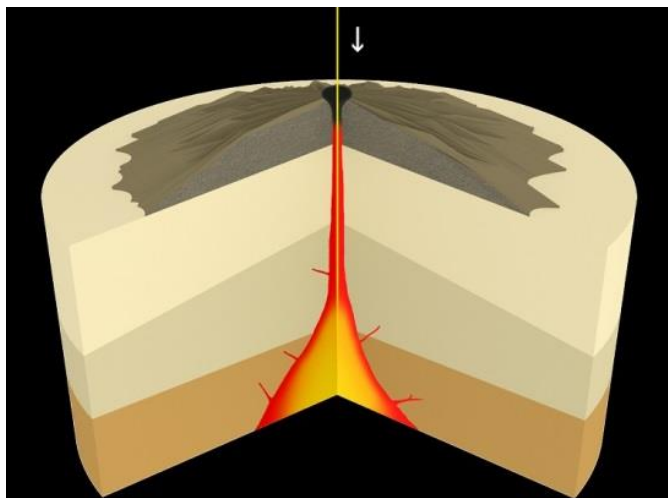
Структура поставок с доминированием сырья многократно снизит затраты на первом этапе строительства. Такие простые вещества, как вода, углеводороды, необходимые как химические реагенты-восстановители металлов и для получения ракетного топлива, готовые алюминий, титан и другие металлы не нуждаются в мягкой посадке. Главное, чтобы после жесткой, ударной посадки эти вещества можно было бы легко собрать и аккумулялировать для последующего использования.

Реализовать метод жесткой посадки, однако не так просто. Дело в том, что если груз образует порции типа сфер, наподобие вымпела КА «Луна-2», то при ударе, будет происходить взрыв и рассеивание груза по большой площади. В результате, большая его часть не может быть собрана.

*Предотвращения взрывного разлета доставляемого вещества, тем не менее, возможно.* Технология «Moontrap» исключает разлет вещества слитка при ударе за счет создания камуфлета на заданной глубине и концентрации доставленного металла в камуфлете. Разработано несколько способов.

Один из самых простых способов предусматривает использование порций груза в виде стреловидных снарядов или стрежней большого удлинения, наподобие стрел Rods from God – высокоточного космического кинетического оружия [5]. Тела такой формы действуют на преграду аналогично струе кумулятивных зарядов. Стреловидные порции груза при столкновении с грунтом, при правильном подборе массы, формы, скорости и вещества снаряда, должны проникать на такую глубину, где их взрывное (частичное) испарение будет происходить в виде камуфлета с образованием закрытой полости, без выброса наружу и рассеивания основной массы вещества.

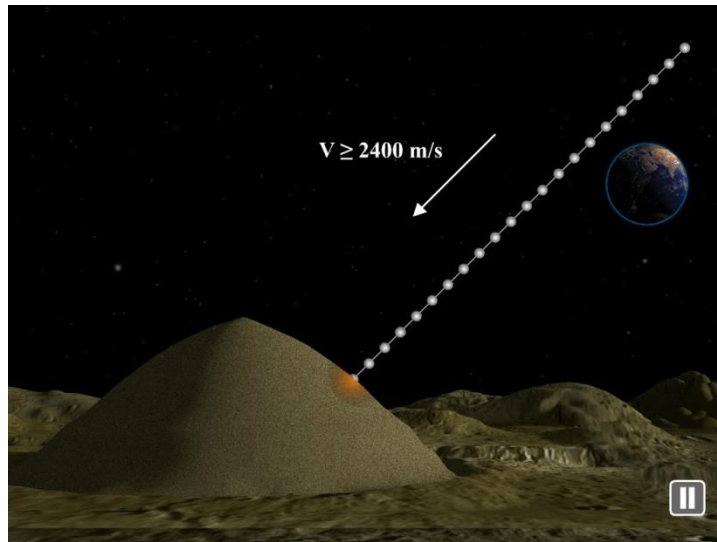
Для обеспечения небольшой глубины залегания камуфлетной полости, с порцией металлического сырья внутри, желательно использовать тонкие струны или цепочки, разворачиваемые при подлете КА к цели. Здесь может использоваться стабилизация, за счет градиента поля тяготения Луны и/или осуществляемая за счет микродвигателей на концах струны, создающих нужное растягивающее усилие. Вместо компактного куска вещества большого диаметра в лунную поверхность входит подобие тонкой струны (pic. 1), с той же массой. Процесс аналогичен инъекции иглой шприца – через малое отверстие впрыскивается большая порция вещества, которое внутри тела концентрируется вокруг зоны прокола. Подобным же образом кумулятивная струя пробивает броню и проникает внутрь корпуса цели через малое по ширине отверстие.



*Pic. 1*

Этим способом, используя насыпи (pic. 2), удобно доставлять в район будущего строительства базы, прежде всего различные металлы. С другими, легко возгоняемыми веществами, есть сложности – образовавшиеся газы будут вырываться из камуфлетной полости через входное отверстие.

Для приема таких веществ необходимы более совершенная технология, решающая проблему герметизации взрывной полости в грунте.



*Pic. 2*

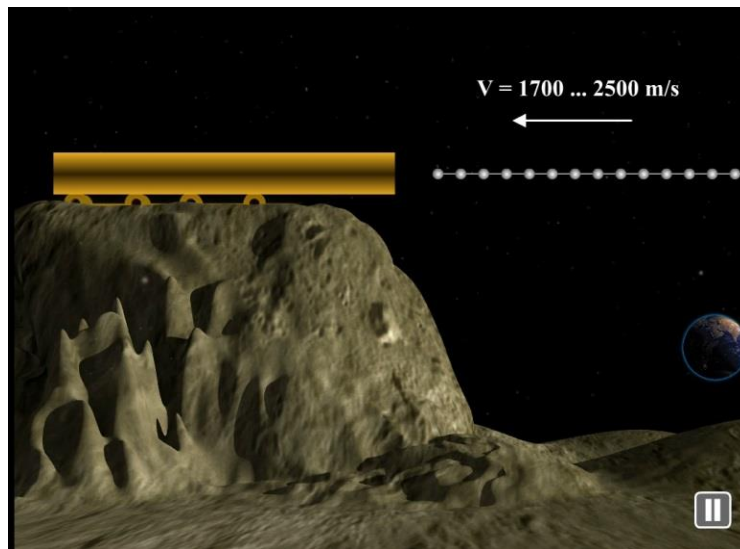
Создание герметичных камуфлетных полостей в грунте представляет собой второй вариант способа жесткой доставки грузов. Он возможен при обеспечении точности попадания в цель с погрешностью 1-2 м. В этом случае на поверхности грунта или на склоне холма монтируется герметизирующее кольцо, заглубленное в поверхность, диаметр которого составляет 2-4 м. Кольцо охватывает вероятную зону попадания груза. Оно содержит быстро закрываемый затвор, раскрытый до попадания порции груза в ловушку. После входа груза в грунт, в пределах поверхности, очерченной герметизирующим кольцом, затвор закрывается, и герметизирует входное отверстие в камуфлетную полость.

Этот второй способ позволит доставлять в район базы такие вещества, как воду и другие легко испаряемые жидкости, включая криогенные, например, кислород, водород, хлор, фтор, некоторые углеводороды. В качестве контейнеров для таких жидкостей могут использоваться пустотелые стрелы (трубки) из полиэтилена.

Следующий, третий этап в развитии технологии доставки грузов методом жесткой посадки на Луну – это использование оболочек, заполненных реголитом (pic. 3). Оболочки также имеют затвор, для быстрого запираения входного отверстия и сохранения образующихся газов. Такие коллекторы, имеют преимущества. В частности, из них легко извлекать полученные вещества и готовить улавливающую среду к приёму очередной порции груза, а также использовать генерируемое тепло.

Рассмотрим простейший вариант такого коллектора. Доставляемая с Земли такая часть коллектора как контейнер (оболочка) может быть изготовлена не из металла, а из высокопрочных материалов типа арамида. Конструктивно контейнер представляет собой трубу, закрытую с торцов. Диаметр контейнера 3,2 м, длина цилиндрической части 10 м, с полусферами заглушек 13,2 м. При 4-кратном запасе прочности масса контейнера, рассчитанного на максимальное внутреннее давление около 30 атм. составит 0,8 т, не считая массы запорной арматуры на входном торце. Контейнер установлен на салазки или другие виды шасси с низкой материалоемкостью. Всего масса пустого коллектора равна 1 т.

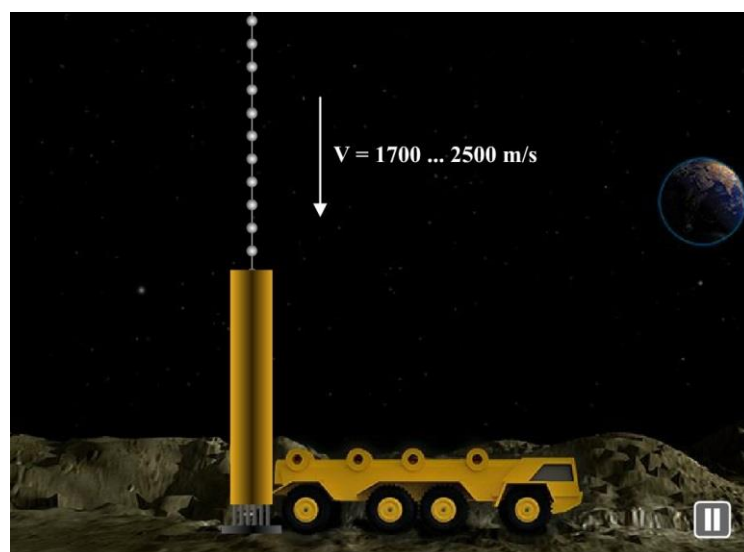
Объем цилиндрической части коллектора равен  $80 \text{ м}^3$ . Тогда при плотности реголита  $1,5 \text{ т/м}^3$ , масса улавливающей грузы среды составит 120 т. Таким образом, самую массивную часть ловушки грузов получаем на Луне, а с Земли доставляем только однотонную конструкцию.



*Pic. 3*

По предварительным оценкам в такую ловушку за одну операцию можно забрасывать порции вещества массой до 100 кг (до 5 т за 50 оборотов КА вокруг Луны). Груз в виде стержня поступает в ловушку через один из торцов (стержень в виде тонкостенной трубки содержит криогенные жидкости). Он пробивает мембрану или сетку на входной части коллектора, которые служат временной стенкой для реголита внутри контейнера, пробивает толщу песка и затормаживается в глубине улавливающей среды. Взрывное испарение груза парируется большой массой рыхлой среды. После чего срабатывает быстродействующий затвор на входном торце коллектора и образовавшиеся газообразные продукты герметично замыкаются. Газы охлаждаются и откачиваются из контейнера в накопительные емкости базы. Затем, взамен пробитой мембраны устанавливается новая (или ставится заплатка на отверстие), реголит разрыхляется (или частично заменяется), затвор приводится в исходное положение и коллектор снова готов к работе.

Другой тип оболочечных коллекторов – это мобильный коллектор (pic. 4). Такая система может принимать грузы от КА, которые сбрасывают грузы на площадку с коллектором при точности попадания в цель с погрешностью в десятки и сотни метров. Стержни, выпущенные из КА и падающие на Луну, например, вертикально, имеют метки для фиксации лидаром. Метки позволяют отслеживать и вычислять точку падения груза. Коллектор, в соответствии с расчетными данными перемещается в точку падения и перехватывает груз.



*Pic. 4*

Данным способом обеспечивается применение малогабаритных коллекторов с приемным отверстием порядка полуметра. В качестве тормозной среды для поглощаемого груза используется

вода или высококипящие углеводороды. В качестве средства герметизации используются механический затвор и аэродинамическое окно.

Аэродинамическое окно – газовая завеса, препятствующая истеканию в наружный вакуум из накопительной камеры коллектора буферной среды, состоящей из газов, аэрозолей и жидкостей. В тоже время, аэродинамическое окно обеспечивает прохождение в камеру потоков сырья, в виде нитей, лент или тонкостенных трубок с газом. Потоки вещества, входящие в камеру со скоростями от 1700 до 3000 м/с, взаимодействуя с буферной средой, распыляются, тормозятся и, смешиваясь со средой в камере, отдают тепло, затем сепарируются и перекачиваются в накопительные емкости. Окно работает только в период поступления груза в накопительную камеру коллектора при открытом механическом затворе.

Грузовые КА, обеспечивающие прицельный выброс грузов с орбиты в лунные коллекторы сырья, имеют специализацию по типам грузов. Грузовые модули КА представляют собой катушку с нитью, лентой, трубкой с газом или нитью в виде цепи, которые вспомогательными механизмами вытягиваются и разворачиваются вдоль траектории в период предшествующий поступлению груза в коллектор. Модули имеют систему управления и ракетную двигательную установку для коррекции и наведения блока на коллектор перед выбросом сырья, а также увода в сторону блока, после сброса груза.

КА, сбрасывающие грузы по касательной к поверхности Луны, в виду простоты отклонения блока и предотвращения попадания в коллектор, используются многократно.

КА, направляющие потоки сырья в коллектор под большими углами к поверхности используются однократно. Двигатели коррекции отклоняют траекторию опустошенных КА от траектории потока сырья, нацеленного в коллектор, так чтобы они совершали падение на специально отведенных полигонах в безопасном удалении от базы.

Разгонные блоки грузовых КА, могут разбиваться о лунную поверхность, чтобы не пополнять облако космического мусора, окружающего Землю. Однако, при использовании многократного аэродинамического тормозного щита и/или при соответствующем подборе массы полезной нагрузки, в бустерах после выполнения задачи остается достаточно топлива, чтобы после облета Луны при возвращении к Земле, погасить избыток скорости в перигее и выйти на низкую околоземную орбиту (НОО). В этом случае, низкая цена доставки сырья на лунную базу описанным способом, дополняется возможностью многократного использования разгонных блоков – заправлять их топливом на НОО дешевле, чем запускать с Земли новые бустеры. На первом этапе можно рассчитывать на 15-25 повторных рейсов бустеров, а в перспективе на 100-200 рейсов.

Коллекторы выполняют не только транспортную функцию, но и производственно-технологическую. Взрывные процессы в реголите, при сбросе в коллектор водорода, лития, магния, алюминия, углеводородов, углерода, хлора и фтора, вызывают реакции восстановительного типа. Выделяется железо, титан, никель, другие металлы, кремний. Аналогичный метод, использующий ядерную энергию вместо кинетической, предлагал пионер астронавтики Krafft Arnold Ehrlicke. На 1 кг метана за счет реакций в коллекторе образуется 5 кг воды и углекислого газа, а на 1 кг водорода выход конечного продукта в виде воды составит 9 кг. Это означает, что по сравнению с методом ракетной доставки грузов методом жесткой посадки доставляется больше грузов уже не в 4-6 раз, а в 20-30 для метана и в 36-54 раза для водорода (при подаче в зону реакций необходимой тепловой энергии). При такой технологии, побочные продукты реакции – железо и кремний, что дополнительно увеличивает эффективность метода и сокращает транспортные затраты.

Например, подача водорода в коллектор с лунным ильменитом, при температуре 300°C на 1 кг водорода дает почти 28 кг железа и 9 кг воды. Таким образом, выход продукции составляет 37 кг, что эквивалентно доставке груза на Луну в среднем по цене 460 долл./кг (17000 долл./37 кг = 460 долл./кг). Это в 10-20 раз меньше нынешних цен доставки грузов на НОО.

При необходимости использовать самоподдерживаемые реакции восстановления, вместо водорода и углерода удобно использовать монооксид углерода (CO). Здесь общий тепловой эффект восстановления железа является положительным. На 1 кг монооксида образуется 2,9 кг продукции, содержащей железо (46%) и углекислый газ (54%). В результате эффект увеличения массы сырья с 4-6 раз возрастет до 12-18 раз, что меньше углеводородного варианта, но также является хорошим результатом.

### Технология Moontrap – спутники Марса

Технология **Moontrap** может быть успешно применена и для создания баз на астероидах и спутниках других планет. На астероиды методом жесткой посадки доставляются конструкционные металлы и обычным способом 3D-принтеры, которые создают основные агрегаты базы по добыче и транспортировке сырья. Соответственно, после создания промышленных баз, возможны недорогие поставки сырья с астероидных баз на Луну. Реголит астероидов насыщен углеродом, что обеспечивает выделение металлов в зоне падения посылок на Луну и упрощает переработку.

Многие околоземные астероиды группы NEA имеют повышенное содержание углерода в реголите. Отправка грузов с некоторых таких астероидов требует всего 50-500 м/с, что делает перспективным организацию переработки реголита за счет «дарового» астероидного углерода и «даровой» кинетической энергии (скорость падения на Луну посылок с реголитом, насыщенным углеродом больше 3300 м/с).

Если перед сбросом посылок на Луну, КА облетают Землю с совершением маневра Оберта, то, например, при приращении скорости КА в перигее на **2000 м/с** скорость падения посылок на Луну возрастет до **7460 м/с** [6]. При такой скорости ударного торможения посылок, из астероидного сырья, выделяется теплота в количестве, достаточном для полного термического разложения сырья в подлунной каверне на исходные металлы и кислород (Таб. 1) без использования углерода. За счет гравитационной сепарации газа и расплавленных металлов, между которыми образуется защитный слой из оксидов, основная масса кислорода и металлов не прореагируют до извлечения из каверны.

Таблица 1.

Значения скорости соударения порций различных веществ с ловушкой грузов, при которой переход кинетической энергии в тепловую, обеспечивает термическое разложение с выделением всего кислорода.

Вещество, разлагаемое термическим способом	Стандартная энтальпия образования, кДж/моль	Молярная масса, г/моль	Удельная величина энергии, кДж/г	Скорость, обеспечивающая требуемую удельную энергию, м/с
<b>FeO</b>	272	71,84	3,79	<b>2752</b>
<b>F<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	822,1	159,69	5,15	<b>3209</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	393,5	44,01	8,94	<b>4229</b>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	945	79,87	11,83	<b>4865</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	241,8	18,00	13,433	<b>5183</b>
<b>MgO</b>	601,8	40,304	14,96	<b>5465</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	911	60,08	15,16	<b>5507</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1675,7	101,96	16,43	<b>5733</b>
<b>Li<sub>2</sub>O</b>	595,8	29,88	19,877	<b>6305</b>

Реголит спутников Марса Фобоса и Деймоса также богат углеродом и углеводородами. Углерод необходим для выделения металлов и кислорода из реголита. Доставлять углерод с Фобоса и Деймоса на Луну гораздо проще, чем с Земли. При использовании шлюзовой системы пропуска грузов в местах падения посылок с углеводородами и оксидами, помимо металлов, будут возникать газовые месторождения, например, CO, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, которые могут быть использованы на более поздней стадии в качестве компонентов для ракетного топлива. CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O – готовые компоненты топлива для двигателей с горючим из магния и алюминия для роверов и исследовательских суборбитальных ракетных модулей.



Таким образом, технология **Moontrap** многократно упрощает создание промышленных баз на спутниках Марса, удешевляет и ускоряет развитие бизнеса по добыче космических ресурсов.

Другим бонусом к технологии **Moontrap** является возможность использовать «даровую» тепловую энергию из подлунных каверн не только для химико-металлургических процессов, но и для выработки электроэнергии – технология тепловых трубок решает задачу передачи тепла из очагов с расплавом к электрогенерирующему оборудованию.

Вариант утилизации тепла из очага в грунте представляется интересным не только для колонистов Луны, но и для колонистов марсианских лун. Базы на Фобосе и Деймосе могут снабжаться энергией по схеме утилизации тепла расплава в кавернах (pic. 5) за счет обмена посылками с реголитом при использовании ретроградных орбит. Обратимся к расчетам (см. приложение 1).

Старт с Деймоса требует прироста скорости в **522 м/с** ( $1873 \text{ м/с} - 1351 \text{ м/с}$ ). Это приращение скорости выведет КА к границе сфере действия Марса. В апоцентре на расстоянии 578 тыс. км (от барицентра) КА движется со скоростью равной 76 м/с. Здесь КА полностью тормозится, а затем разгоняется в противоположную сторону. Изменив скорость в итоге на 152 м/с, КА переходит на ретроградную орбиту. В перицентре орбиты он «заходит в лоб» Деймосу с относительной скоростью **3224 м/с** ( $1351 \text{ м/с} + 1873 \text{ м/с}$ ) и сбрасывает порцию груза на приемную площадку на Деймосе и в обратной последовательности возвращается. Считаем расход топлива на смену направления движения КА в апоцентре: при удельном импульсе 2000 м/с, расход топлива составит 73,18 кг для КА с начальной массой 1000 кг. Для возвращения с ретроградной орбиты на проградную требуется потратить 7,9 кг топлива для пустого КА массой 100 кг. Итого затраты равны 81,08 кг. Масса груза – 818,92 кг. При указанной скорости столкновения энергия груза равна 4 256 МДж. Затраты энергии на запуск тросовой катапульты и топливо равны 283 МДж. Таким образом, *выход энергии в 15 раз превышает расход*.



Pic. 5

Старт с Фобоса требует прироста скорости в **861 м/с** ( $2998 \text{ м/с} - 2137 \text{ м/с}$ ). Это приращение скорости выведет КА к границе сфере действия Марса. В апоцентре на расстоянии 578 тыс. км (от барицентра) КА движется со скоростью равной 49 м/с. Изменив скорость на 98 м/с, КА переходит на ретроградную орбиту. В перицентре орбиты он «заходит в лоб» Фобосу с относительной скоростью **5135 м/с** ( $2998 \text{ м/с} + 2137 \text{ м/с}$ ) и сбрасывает порцию груза на приемную площадку на Фобосе и в обратной последовательности возвращается. Считаем расход топлива на смену направления движения КА в апоцентре: при удельном импульсе 2000 м/с, расход топлива составит 47,82 кг для



КА с начальной массой 1000 кг. Для возвращения с ретроградной орбиты на проградную требуется потратить 5,02 кг топлива для пустого КА массой 100 кг. Итого затраты равны 52,84 кг. Масса груза – 847,16 кг. При указанной скорости столкновения энергия груза равна 11 170 МДж. Затраты энергии на запуск тросовой катапульты и топливо равны 466 МДж. Таким образом, *выход энергии в 24 раз превышает расход*.

До создания тросовых катапульт использование ракетного способа также выгодно. При совершении переноса грузов с Деймоса на Фобос (рис. 6) расходы топлива составят 21% от стартовой массы КА, в случае возможности использования топлива с удельным импульсом 3300 м/с (предполагается его производство на базе). Для большинства компонентов реголита, указанных в Таб. 1, скорости столкновения посылок с сырьем с коллекторами на Фобосе достаточны для термического разложения оксидов, выделения кислорода и получения металлов, дополнительно к бонусу в виде тепловой энергии.

Слабая атмосфера Марса не является труднопреодолимой для грузов, которые могут сбрасываться с Фобоса и Деймоса с высокой скоростью. Благодаря этому, стреловидные цилиндрические болванки с большим удлинением (от 20:1 до 100:1) могут, сохраняя высокую скорость, проникать на достаточную глубину в грунт и воспроизводить такие же тепловые, химические и металлургические эффекты, как на Фобосе и Деймосе. Скорость падения стреловидных снарядов на Марс составит около 5000 м/с (при использовании экономных двухимпульсных траекторий Штернфельда). Согласно Таб. 1 снаряды из оксидов железа и титана в результате термического разложения распадутся в подпочвенной каверне (камуфлете) на кислород и металлы. Для получения металлического алюминия придется использовать снаряды из глинозема в смеси с углеродом – одновременно *это снизит требуемую скорость падения до 3595 м/с*. В результате карботермического восстановления будет получен алюминий и углекислый газ. Газ сбрасывается в атмосферу, а в каверне остается порция металлического горючего, хорошо горящего в среде из углекислого газа и водяного пара.

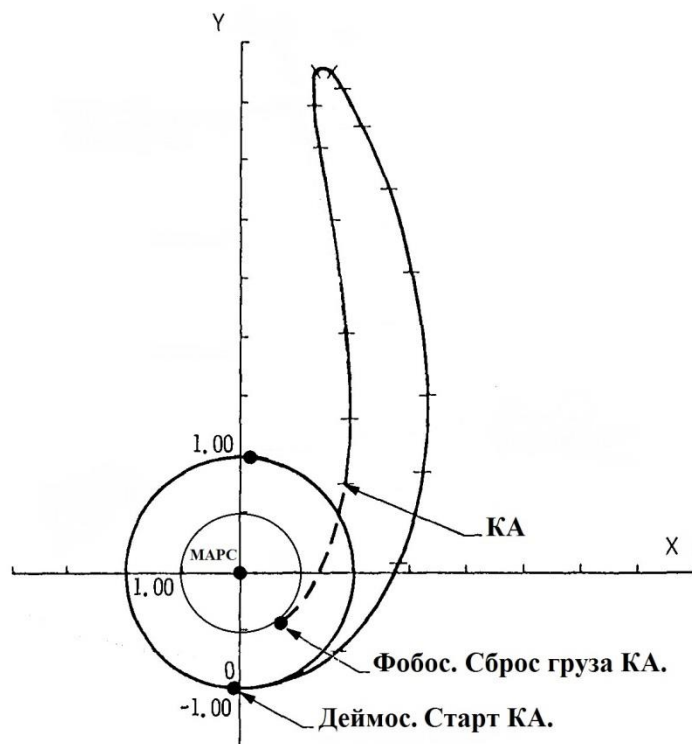
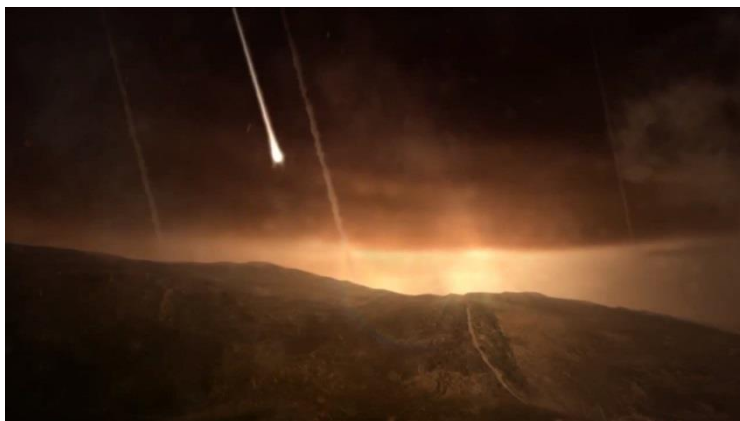


Рис. 6

На стадии развертывания марсианских колоний даровые запасы энергии Фобоса и Деймоса, а также околomarсианских астероидов, будут очень полезны, так как в отличие от солнечной энергии они представлены в высококонцентрированном виде. Изобилие недорогой энергии на промышленных базах марсианских лун, поможет решить проблему энергоснабжения колоний на поверхности Марса. У землян есть даровые запасы кислорода, которые создают фундамент углеводородной энергетики. А марсианские колонисты, даже если изыщут запасы углеводородов, не смогут использовать их в атмосфере из углекислого газа. Однако, в марсианской атмосфере хорошо горят некоторые металлы. Эти металлы – магний и алюминий, будут производить на базах Фобоса и Деймоса и сбрасывать на поверхность Марса (pic. 7), создавая в определенных зонах запасы металлического горючего, лежащие на небольшой глубине или даже прямо на поверхности.



*Рис. 7*

Дополнительно к стреловидным посылкам из сырья на поверхность Марса целесообразно сбрасывать болванки (снабженные радиомаяками) из готовых металлов, прежде всего алюминия и магния, которые имеют высокое аэродинамическое сопротивление и падают на поверхность без заглублиения в грунт, как и те многие, выпавшие на Марс метеориты. Такие металлические болванки имеют теплозащитный тормозной экран из кремнезема и углерода, а так же, при необходимости, систему коррекции полета к цели, для уменьшения рассеяния и образования компактных полей падения (системы коррекции используются многократно на стадии использовании космических челноков для связи с Фобосом и Деймосом, что удешевляет их применение).

Искусственно созданные россыпи слитков алюминия и магния имеют для колонистов такое же значение как запасы угля и нефти для земного человечества. Эти металлы хорошо горят в атмосфере из углекислого газа. Вода, которая имеется на Марсе, также пригодна для сжигания металлов. Таким образом, благодаря поставкам с лунных баз марсианские колонисты получают комфортные условия развития экономики, близкие к земным: вместо угля и нефти они используют алюминий, магний и воду. Марсианские вездеходы получают большие возможности перемещений, имея на борту вместо бензина алюминий с магнием, а ракетные летательные аппараты, заправленные водой и металлическим горючим, могут совершать перелеты по всей планете, используя в качестве взлетно-посадочных площадок россыпи слитков алюминия и магния. Благодаря запасам металлического горючего, становится возможным эксплуатация самолетов со сверхзвуковыми прямоточными двигателями (pic. 8). На базе таких самолетов с  $M=6-9$  проще будет реализовать систему космических челноков.



Рис. 8

Есть все основания утверждать, что запасы механической энергии в марсианском небе – это такое предложение Марса колонистам, от которого невозможно отказаться. Без поддержки колоний даровыми припасами с неба, колонисты будут привязаны к ядерным электростанциям и темпы исследования и колонизации Марса будут весьма низкими из-за высокой стоимости поддержки колоний с Земли.

Составной частью колонизации Марса через его луны Фобос и Деймос, является создание промышленной базы на Луне.

Луна может стать выгодной перевалочной и перерабатывающей промышленной базой на пути доставки грузов от астероидов, Фобоса и Деймоса к околоземным орбитальным станциям и земным потребителям. Лунный перевалочный пункт упрощает доставку астероидных ресурсов – устраняются торможение и маневры при доставке в точки либрации, что расширяет число разрабатываемых астероидов, исключается проблема доставки к астероидам оборудования для переработки реголита.

Итак, кооперация с марсианскими лунными базами и базами на околоземных астероидах избавляет колонизаторов Луны от масштабного строительства металлургических, химических и энергетических предприятий. В последующем эти промышленные объекты будут созданы, но уже не в чистом поле, а на участках, насыщенных искусственными месторождениями полезных ископаемых: «самородными» алюминием, магнием, железом, титаном, никелем, кобальтом, кремнием и запасами газа ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ). Для освоения рукотворных месторождений достаточно будет небольших буровых установок, мобильных электрогенераторов (подключаемых к «подземным» источникам тепла), химико-технологических модулей очистки сырья и модулей 3D-печати. Все остальное будет сделано литейными машинами и средствами аддитивной печати, включая новые 3D-принтеры.

### Система промышленных баз Луны, Фобоса, Деймоса и околоземных астероидов

Заглядывая в более отдаленное будущее применения технологии **Moontrap**, необходимо отметить, что ее энергетические возможности значительно шире рассмотренных методов и, в случае, использования известных схем пертурбационных маневров, приближаются к удельной плотности энергии, близкой к показателям ядерных зарядов. Несомненно, это значительно упростит освоение ресурсов Луны, Марса, его естественных спутников и астероидов. С помощью маневров возле Юпитера можно достичь высоких скоростей грузовых КА в окрестностях Марса и Луны при малых энергетических затратах и за приемлемое время.

На рис. 9 представлена траектория облета Юпитера, требующая начальной характеристической скорости 16,5 км/с (включая гравитационные потери 1,22 км/с) при старте с Земли. Пройдя на

расстоянии 5,3 радиуса Юпитера от центра планеты, КА выйдет из сферы действия Юпитера, описав вокруг него петлю, сильно напоминающую петлю при облете Луны, и будет отброшен к центру Солнечной системы. Через 3 года после старта он пройдет со скоростью 298 км/с на расстоянии 0,02 а.е. от Солнца [7].

При пересечении орбиты Земли, (при вертикальном падении с высоты в 5 а.е. на высоту в 1 а.е.), КА обретает скорость равную 37,675 км/с (в варианте с запуском со скоростью 16,8 км/с вместо 16,5 км/с). В результате суммирования со средней скоростью Земли, результирующая скорость составит 48,167 км/с на входе в сферу действия Земли. На входе в атмосферу Земли скорость КА возрастет до 49,4 км/с. Падение на Луну произойдет со скоростью равной 48,19 км/с  $\pm$  1,02 км/с. При такой скорости на каждую 1 т массы ударника выделится энергия эквивалентная энергии 278 т тринитротолуола. Это близко к мощности малого тактического ядерного заряда. Вместе с тем, при указанной схеме облета Юпитера невозможно добиться того, что бы Земля с Луной в момент пересечения ее орбиты оказалась на пути КА с ударником. Однако, попадание кинетического снаряда в Луну обеспечивается при запуске КА по схеме, показанной на рис. 10.

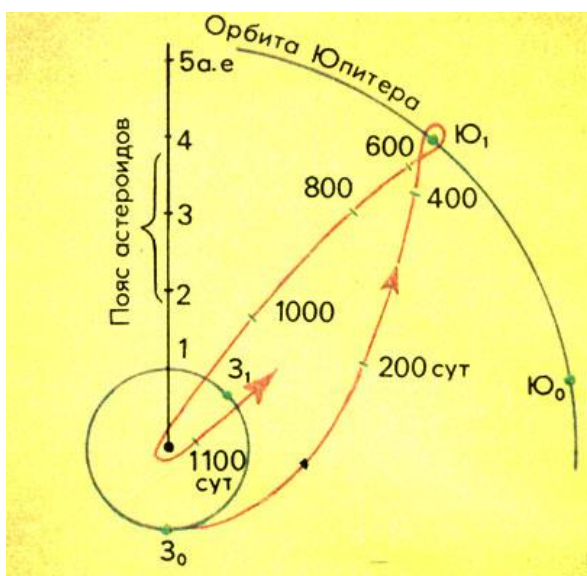


Рис. 9

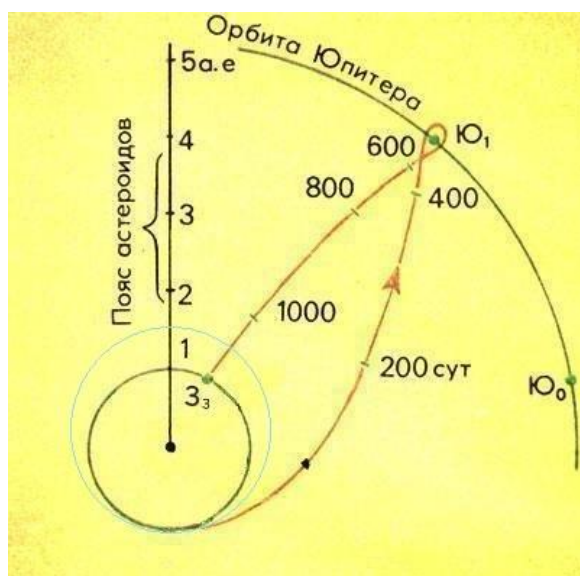


Рис. 10

Кауфлетный взрыв ударника массой 1 т в породе из окиси железа производит 68 т кислорода и 155 т расплавленного железа.

Второй способ запуска КА к Юпитеру предусматривает смещение точки старта за пределы Земли. При должных параметрах Земля с Луной окажется в месте пересечения с траекторией КА. Для этого КА должен первоначально выходить на предварительную орбиту, например, с периодом порядка полутора лет, перигелий которой совпадает с точкой запуска на орбите Земли на первоначальной схеме – точкой З<sub>0</sub>.

На рис. 9 видно, что пересечение орбиты Земли происходит через 3 года после отлета с Земли, и, следовательно, Земля в это время находится вблизи точки З<sub>0</sub>, а следовало бы ей находиться левее З<sub>1</sub> (З<sub>1</sub> — положение Земли в момент облета Юпитера).

Запуск КА к Юпитеру должен производиться не с Земли, а с Луны, точнее с борта искусственного спутника Луны, с совершением гравитационного манёвра Оберта при облете Земли ( $dV = 4,3$  км/с), что энергетически и экономически выгодно. Запуск с некоторых астероидов, требующий скорости достижения Земли в диапазоне от 50 до 500 м/с и не требующий вспомогательной синхронизирующей орбиты будет более выгодным.

В отдаленной перспективе роботизированные базы на спутниках Юпитера обеспечат лунные и марсианские карьеры высокоэнергетическими ударниками. КА с ударниками за счет маневра Оберта, стартующие с баз на спутниках Юпитера при малых затратах выходят на ретроградные орбиты



спутников Солнца. На такой орбите КА движется навстречу Земле, а так же навстречу планетам земной группы и астероидам. В данном случае, КА переходит на ретроградную орбиту вокруг Солнца со скоростью в апогелии равной 7,415 км/с и скоростью в перигелии на расстоянии 1 а.е. – 38,575 км/с.

Кинетическая энергия ударников таких ретроградных КА максимальна. Например, применительно к Земле, относительная скорость КА с ударником на высоте 200 км равна 69,237 км/с. Относительно Луны скорость составит 68,358 км/с  $\pm$  1,02 км/с. Падение на Луну ударника массой в 1 т будет эквивалентно подпочвенному взрыву мощностью **558** т тринитротолуола. Эта энергия способна разложить, например, 454 т окиси железа ( $Fe_2O_3$ ) с получением 136 т кислорода и 317 т железа.

Использование гравитационных маневров для многократного увеличения кинетической энергии ударников (из астероидного вещества) и усиления эффективности технологии **Moontrap** делает возможным реализацию схем Краффта А.Эрике по масштабной переработке лунных ресурсов за счет подлунных взрывов высокой мощности, но уже без ядерных зарядов. В результате Луна станет источником почти дарового сырья для получения ракетного топлива и конструкционных материалов. Отпадает необходимость создания металлургических и химических заводов, для извлечения металлов и кислорода из реголита.

*Триада колоний Луны, Фобоса и Деймоса* – условие рентабельной эксплуатации энергетических и сырьевых ресурсов космоса. На предварительном этапе освоения Луны, без ресурсов астероидов и спутников Марса, временно может использоваться другой способ увеличения кинетической энергии ударников, посылаемых с Земли. При разгоне КА на НОО до 5 км/с вместо 3 км/с, скорость падения ударника на Луну с 2,5 км/с вырастет до 7,5 км/с, что увеличивает кинетическую энергию воздействия в 9 раз (рис. 11). Масса ударника (груза) при этом (за счет дополнительного расхода топлива) сокращается в 2 раза, но в итоге *рост энергии ударника увеличивается в 4,5 раза*, что согласно Таб. 1 качественно улучшает термохимические и металлургические процессы при взаимодействии ударника и лунного сырья.

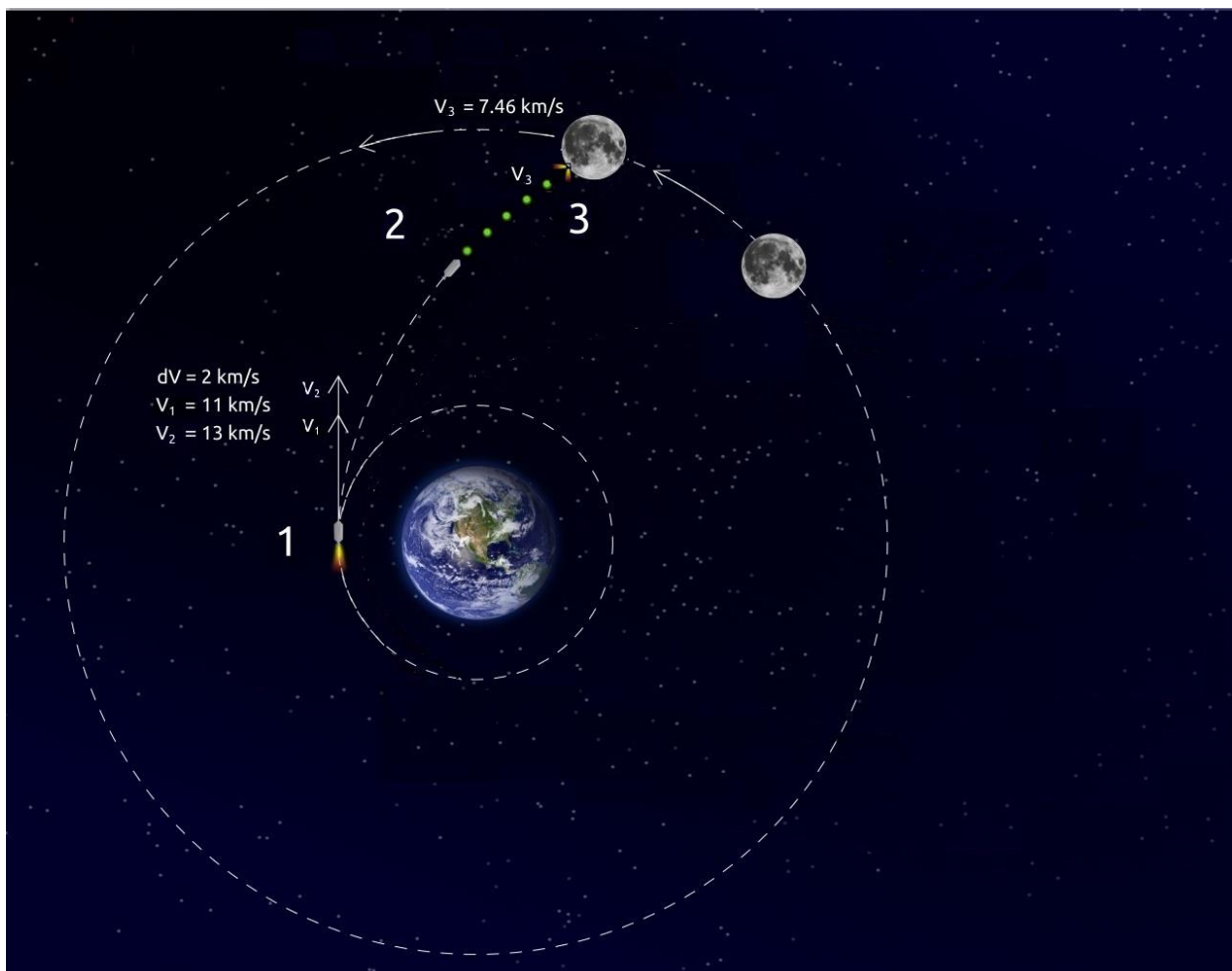


Рис. 11

Ударное воздействие (при определенных условиях столкновения) на скорости выше 5,73 км/с производит термическое разложение практически всех окислов, входящих в состав реголита, на кислород и простые вещества. Это значит, что устраняется потребность в реагентах-раскислителях для разделения реголита, которые необходимо поставлять с Земли и/или астероидов. На этом основании может быть рекомендована еще одна вспомогательная схема ударно-термической переработки реголита: ударники запускаются не с Земли, а с Луны, где изготавливаются из лунного сырья, а затем после активного гравитационного маневра возвращаются на Луну и совершают ударную (жесткую) посадку со скоростью 7,46 км/с (рис. 12).

Прирост импульса в перигее на 2 км/с является оптимальным, так как меньшее или большее значение разгонного импульса уменьшает удельную величину прироста кинетической энергии ударника. Прототип предлагаемой схемы использования запасов энергии гравитационного поля системы Земля-Луна рассматривался в докладе Московскому космическому клубу [6].

При использовании электромагнитной катапульты и других неракетных средств запуска для вывода ударников с Луны в космос, такая схема становится энергетически и экономически оправданной – затраты на изготовление топлива, расходуемого на маневр Оберта, перекрываются выигрышем от прироста энергии и полученных продуктов разложения реголита. Энерго-вещественный бонус возникает в данном случае за счет превращения «даровой» потенциальной энергии лунного вещества в кинетическую. Это является альтернативой ядерным реакторам и другим источникам энергии в виду экологической безопасности и при этом высокой концентрации энергии.

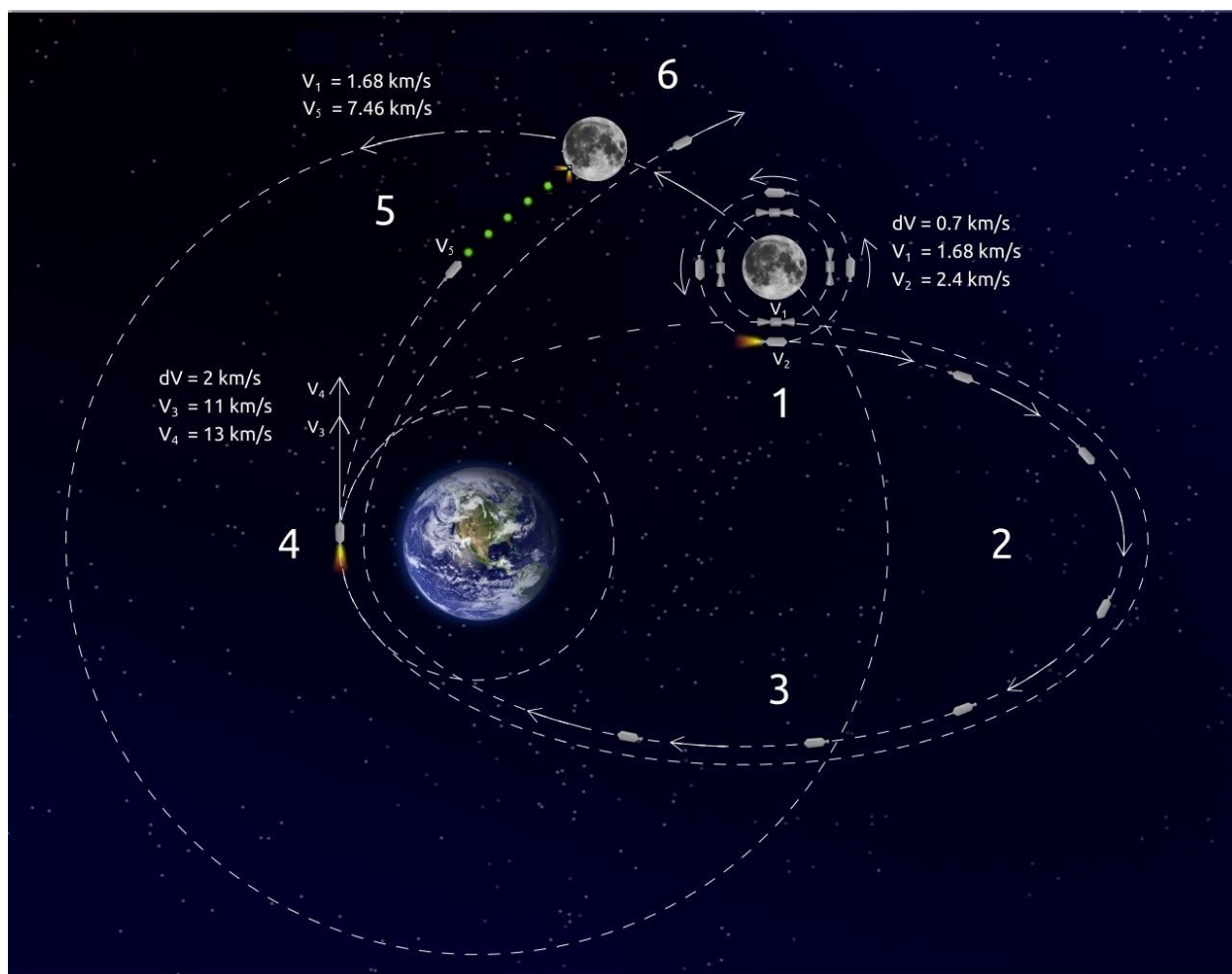


Рис. 12

Технология **Moontrap**, разрабатывалась на основе максимального использования апробированных технических решений, что позволит реализовать ее в кратчайший срок. Например, разгонный блок «Фрегат» методом жесткой посадки доставит груз массой в 1,25 т. Разгонный блок «ДМ» (в

различных модификациях) забросит на Луну ударник массой 5 т со скоростью падения около 2,6 км/с или ударник массой 2,5 т, но со скоростью падения около 7,5 км/с. Сверхтяжелая ракета Space Launch System будет способна забросить на Луну грузы-ударники массой до 45 т. Полезная нагрузка в упрощенном варианте – пакет стержней-ударников или единственный пенетратор из материалов, представляющих ценность для создания промышленной базы.

Затраты на доставку грузов-пенетраторов и создание обогащенных ценным сырьем лунных участков в 2 раза меньше чем затраты на запуск спутников на геостационарную орбиту (ГСО). Запуски КА на ГСО с НОО требуют прироста скорости более 5000 м/с, тогда как для запуска на Луну приращение скорости составляет около 3000 м/с. При использовании облетных траекторий, с гашением скорости двигателями и/или аэродинамическими экранами в перигее (проект «Рывок» РКК «Энергия»), бустеры используются многократно (после дозаправки), что обеспечивает дополнительную экономию (pic.13).

### Заключение

Процесс освоения лунных ресурсов в 2017 году от теоретического обсуждения перешел к практическому решению. Об этом свидетельствуют сообщения американских СМИ: в США государство выделило средства для оплаты услуг частных компаний по доставке грузов на Луну, начиная с 2018 финансового года. Эти средства будут увеличиваться с каждым годом.

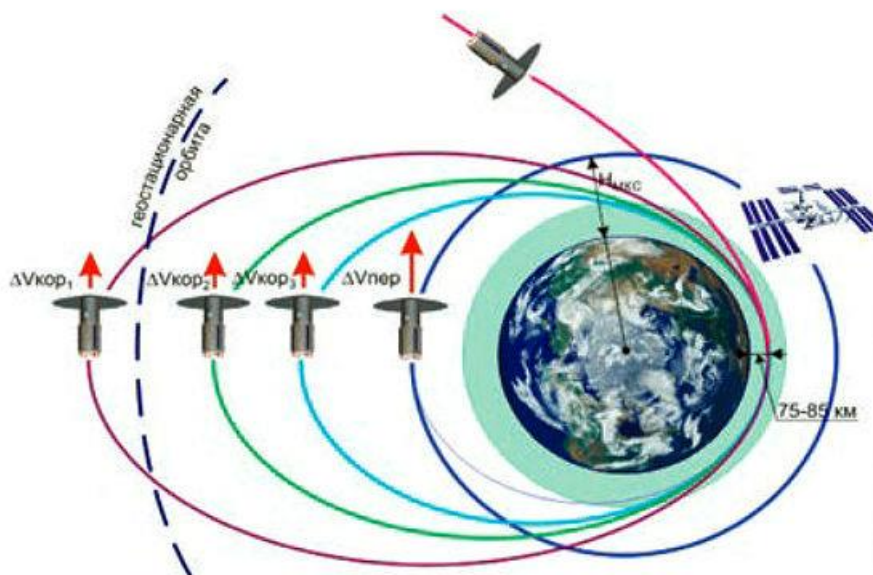


Рис. 13

Согласно прогнозам американских аналитиков плата за услуги по коммерческой транспортировке грузов на Луну уже к 2020 году будет составлять один миллиарда долларов [8]. Это составляет 1/6 часть среднегодовой стоимости пусковых услуг на мировом рынке.

В этом аспекте технология **Moontrap** имеет хороший потенциал коммерциализации. Работа по созданию запасов металлов, ракетного топлива и материалов для технологических модулей в районах размещения будущих лунных баз, может производиться по заказам частных аэрокосмических компаний и национальных аэрокосмических агентств. Такие стратегические запасы разработчики **Moontrap** будут создавать на Луне впрок, продавая затем «месторождения» будущим колонизаторам Луны.

В отличие от торговли лунными участками, нарушающей космическое право, *продажа запасов ценного сырья, созданных на участках лунной поверхности*, дает определённые права покупателям на лунные участки, но не нарушает имеющихся международных соглашений. Размещение частной собственности на общественных землях или в международных водах не является присвоением общей территории, но ограничивает права других лиц на использование уже занятой территории. Свободные лунные территории занимают как складские площади, с перспективой создания на



основе этих складов инфраструктуры промышленной базы. В этом аспекте услуги по применению технологии **Moontrap** могут продаваться, как способ застолбить выгодный участок лунной поверхности. Эффективным методом «застолбления» будет сброс грузов в виде пакета металлических стержней-пенетраторов, рассеиваемых по заданной площади и проникающих в грунт на небольшую глубину.

Торговля запасами металлов и сырья для ракетного топлива на участках под застройку лунных баз (pic.14) при использовании производных финансовых инструментов, может производиться без предварительных инвестиций в средства доставки сырья на Луну. Продажа опционов позволяет привлечь деньги для первых шагов в создании ресурсного плацдарма на Луне. Продажа акций компании миноритарным акционерам, как показывает практика, – тоже эффективный канал привлечения финансовых ресурсов. Таким образом, при минимальных вложениях в проект (в основном в рекламу на первом этапе) можно получить начальный капитал на НИОКР (R&D) и реализацию **Moontrap** для группы внеземных баз. Услуги по отправке грузов в космос оказываются многими частными компаниями – нет необходимости иметь свой космический флот.



*Pic. 14*

Получение средств на инновационный процесс от государственных организаций также имеет хорошие основания в планах развития космической инфраструктуры национальных агентств. США приняли программу по созданию станции Deep Space Gateway на орбите Луны. Вывод первых модулей возможен в 2024-2026 годы. На первом этапе будет строиться орбитальная часть с дальнейшей перспективой применения отработанных технологий на поверхности Луны, а впоследствии - Марса. Понятно, что простая в реализации и экономически выгодная технология **Moontrap** вписывается в цели инициаторов строительства станции.

Основное препятствие здесь – громоздкая система пересмотра ранее принятых планов, под которые уже выделены средства и назначены исполнители. Новые технологии, форсирующие прогресс, по этой причине воспринимаются многими участниками процесса как «черные лебеди» – неожиданная и досадная помеха. Однако, конкуренция, как правило, ликвидирует отстающие компании и в итоге обеспечивает реализации новаций. Следует ожидать, что в отношении технологии **Moontrap** конкурентные отношения на рынке космических услуг также будут способствовать ее реализации.

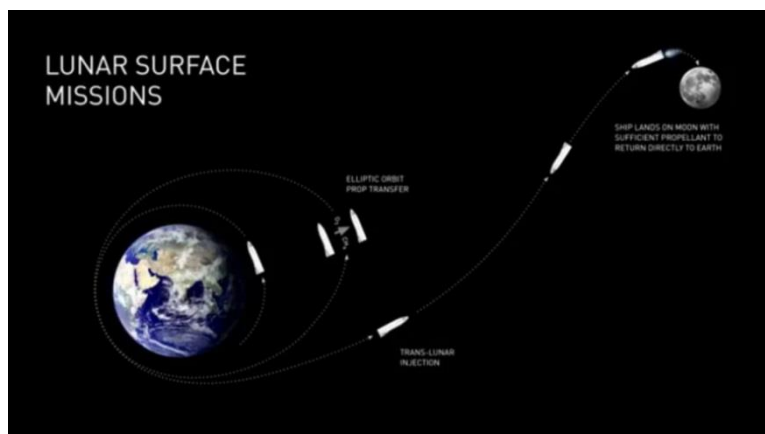
Вдохновляющим примером административной гибкости в пересмотре ранее принятых программ является решение Роскосмоса присоединиться к проекту Deep Space Gateway, о чем было заявлено в 2017 году на Международном астронавтическом конгрессе в Австралии.

Более гибкими в вопросе реализации технологии **Moontrap** должны быть частные компании, которые ориентированы больше на негосударственных потребителей на рынке космических услуг, чем на госкомпании. К примеру, генеральный директор компании SpaceX Илон Маск, длительное время игнорировавший коммерческие полеты к Луне и продвигавший в противовес идею полетов на Марс, на том же Международном астронавтическом конгрессе заявил о технической готовности его компании к осуществлению полетов на Луну в ближайшие годы. На pic. 15 изображена лунная база, на которой производится обслуживание многоразовых кораблей компании (BFR), аналоги которых ранее позиционировались как предназначенные только для полетов на Марс.



*Pic. 15*

Вместе с тем, руководитель SpaceX пока не заявляет о необходимости использования ракетного топлива, произведенного на Луне из местного сырья – на данном этапе продвижения ракетного проекта ему важно продемонстрировать техническую готовность полетов на Луну без таких еще не отработанных технологий, как производство лунного топлива. На pic. 16 показана схема дозаправки кораблей BFR с использование поставок топлива с Земли, а не с Луны.



*Pic. 16*

Однако несомненно, что в том случае, когда дозаправка кораблей на Луне будет дешевле дозаправки на промежуточной орбите из танкеров, запускаемых с Земли, то SpaceX изменит планы и перейдет на заправку кораблей лунным топливом. Это же касается выгод дозаправки лунным топливом кораблей компании, отправляемых на Марс, которая требует запуска 4-х танкеров с Земли. Не смотря на то, что корабли BFR компании Илона Маска только проектируются, тем не менее, на рынке космических услуг появился реальный крупный частный инвестор, объективно заинтересованный в R&D по проекту **Moontrap** и его реализации.

Можно резюмировать, что технологии **Moontrap** имеют заинтересованных потребителей. Поэтому, основной вопрос реализации – это наличие кадровых ресурсов в России и мотивированных администраторов для продвижения технологии **Moontrap** на мировой рынок космических услуг.

### Приложение 1

Данные для расчетов ретроградных спутников Марса.

Гравитационный параметр Марса (K) – 42828 (км<sup>3</sup>с<sup>-2</sup>)

Радиус орбиты Фобоса – 9377,2 км.

Средняя орбитальная скорость Фобоса – 2,137 км/с.

Радиус орбиты Деймоса – 23458 км.

Средняя орбитальная скорость Деймоса – 1,351 км/с.

Апоцентр орбиты «Фобос – граница сферы действия Марса» – 578 тыс. км.

Апоцентр орбиты «Деймос – граница сферы действия Марса» – 578 тыс. км.

Скорость КА в апоцентре орбиты «Фобос – граница сферы действия Марса» – 0,049 км/с.

Скорость КА в апоцентре орбиты «Деймос – граница сферы действия Марса» – 0,076 км/с.

Скорость КА в перигентре орбиты «Фобос – граница сферы действия Марса» – 2,998 км/с.

Скорость КА в перигентре орбиты «Деймос – граница сферы действия Марса» – 1,873 км/с.

Значения скорости вычисляются по формуле:  $V = [K (2/r - 1/a)]^{1/2}$ ,

где K – гравитационный параметр, r – расстояние, a – большая полуось.

#### Источники

1. Costs of an International Lunar Base (September 24, 2009).

<https://www.csis.org/analysis/costs-international-lunar-base>

2. Группа патентов США, ЕС и СНГ по теме коллекторов груза:

Method and system for delivering cargoes into space. US 8882047 B2.

Status: Grant of patent is intended

Method for delivering cargoes into space and a system for implementation of same. EP2390188 Status:

Grant of patent is intended (Great Britain, Germany, France).

Sposob dostavki gruzov v kosmos i sistema yego osushchestvleniya.

Patent of Russia RU2398717

Sposob dostavki gruzov v kosmos i sistema yego osushchestvleniya.

Patent of Eurasia Patent Organization 017577

Sposib dostavki vantazhiv v kosmos i sistema yego zdíysnennya.

Patent of the Ukraine 99230

3. Mayboroda A. «How to build a Moon base cheaply. / ROOM No. 1. 12. 04. 2017.

<https://room.eu.com/contributors/Alexander-Mayboroda>

4. Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы / Под научной редакцией

В.П. Легостаева и В.А. Лопоты. // М.: РКК «Энергия». 2011. 584 с.

5. Kinetic Strike / EndWar Wiki. [http://endwar.wikia.com/wiki/Kinetic\\_Strike](http://endwar.wikia.com/wiki/Kinetic_Strike)

6. Майборода А.О. Система «Луна-Земля» / КТС «Орбитрон» – инструмент индустриализации космоса». // Московский космический клуб. 12 марта 2015. <http://mosspaceclub.ru/1news/Orb.pdf>

7. Левантовский В.И., Механика космического полёта в элементарном изложении, 3-е изд., дополненное и переработанное. // М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 512 с.

8. Moon Prospects – Demand for Lunar Services (PDF) / MOON SHOT II: COMMERCIAL LUNAR AMBITIONS. <http://spaceangels.com/post/moon-shot-ii-commercial-lunar-ambitions>