

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ СНАБЖЕНИЯ ЛУННОЙ БАЗЫ

А.О. МАЙБОРОДА¹
(Директор НИК "АВАНТА-Консалтинг")

DOI: 10.7868/S02333619

Ведущие национальные космические агентства имеют детально проработанные планы создания базы на Луне. Казалось бы, существует полная ясность и согласие специалистов по вопросу – “что делать для возвращения на Луну?”. Однако, как показали последние события в США – это далеко не так. Начался бунт политической и научной элит, против имеющихся планов Национального управления по аeronавтике и исследованию космического пространства (NASA) по причине их чрезмерной дороговизны и медлительности.

План строительства окололунной орбитальной станции *Gateway* подвергся жёсткой критике как ненужный и чрезмерно дорогой. Строительство обойдётся американским налогоплательщикам не менее чем в 50 млрд долларов. При этом не предусмотрено строительство лунной базы, которая будет стоить минимум столько же.

Американская неправительственная организация “Open Lunar Foundation” подсчитала, что для основания лунной колонии нужны 2–3 млрд долларов с учётом удешевления ракетной

техники. Потребуются и другие новые технологии, которые “Open Lunar” планирует заимствовать у внешних разработчиков из открытых источников. В итоге, под давлением критики президента США Дональд Трамп призывал директора NASA Джеймса Брайденстайна рассмотреть альтернативные проекты освоения Луны.

Российская космонавтика находится в такой же ситуации – у неё так же нет недорогих и быстрых в реализации планов создания лунной базы. При этом, в отличие от NASA, “Роскосмос” не имеет мощной финансовой поддержки, что объективно делает его ещё более заинтересованным в поиске альтернативных планов. Однако в России нет такой мощной, как в США, оппозиции неэффективным официальным планам создания лунной базы. Тем не менее, альтернативные планы освоения Луны были разработаны вне бюджетных учреждений и рассмотрены на уровне госсурждений.

Таким перспективным общественно-частным альтернативным планом по сокращению расходов является проект “Moontrap”, созданный в инициативном порядке частной организацией. Он прошёл апробацию на академических научных чтениях по

¹Автор группы изобретений в сфере космического транспорта – патенты США, ЕС и СНГ, член “Московского космического клуба”.

космонавтике, в "Московском космическом клубе" и в рабочей группе SpaceNet (подразделении AeroNet) Национальной стратегической инициативы. В 2018 году, 21 февраля, проект рассматривался на межотраслевом семинаре в Информационно-аналитическом центре (ИАЦ) "Роскосмоса".

Система "Moontrap" основана на рационализации нескольких конкурирующих логистических схем в космосе. Известно три основных способа обеспечения строительства и работы базы на Луне. Рассмотрим их.

Первый способ – доставка конструкций базы в готовом виде с Земли на Луну. Этот способ можно условно назвать "способом Бармина", по фамилии разработчика советской лунной базы "Звезда" академика В.П. Бармина и его сына, члена-корреспондента РАН, президента Российской академии космонавтики И.В. Бармина, отстаивающего способ сооружения базы с доставкой на Луну полностью готовых конструкций.

Второй способ – доставка на Луну только 3D-принтеров, которые напечатают из металла нужные части конструкции базы, и добывающе-перерабатывающего оборудования по производству из реголита (поверхностный слой сыпучего лунного грунта) алюминия, титана и железа – сырья для 3D-принтеров. Этот способ можно условно назвать "способом Галимова", по фамилии пропагандиста этого способа академика Э.М. Галимова. Он утверждает: "С Земли есть смысл везти только то, что нецелесообразно делать на Луне: электронику, блоки управления. Это не так много весит. А вот

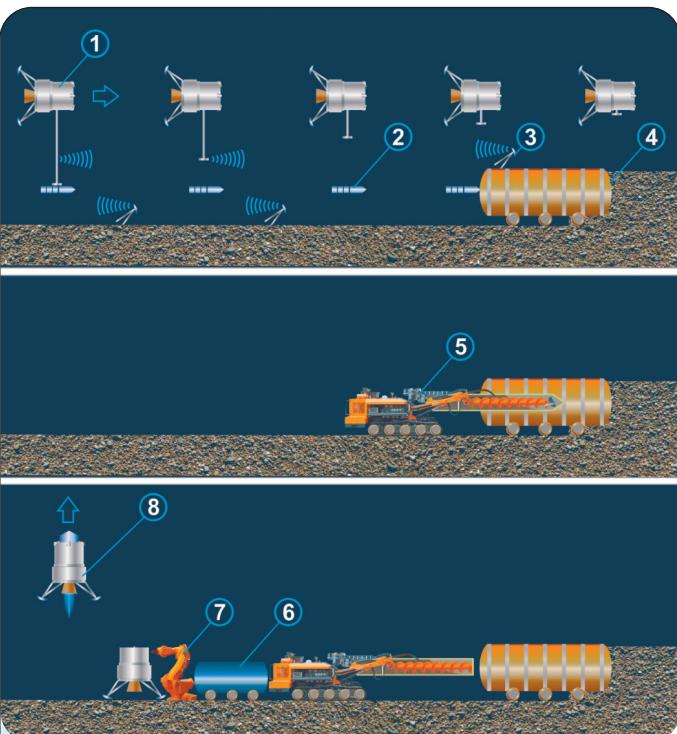
титановый корпус хоть на 50 тонн там можно сделать автоматически – сегодня у нас есть 3D-принтеры".

Третий способ – доставка на Луну только сырья: конструкционных и расходных материалов, обрабатывающего оборудования, на котором изготавливают части базы. После завершения строительства базы поставки сырья продолжаются для обеспечения экипажа и ракетной техники. Этот способ имеет право называться "способом Марвика", по фамилии американского изобретателя Эдварда Ф. Марвика его предложившего – патент US4775120.

"Способ Бармина" требует использования сверхтяжёлых ракет, что само по себе проблематично для "Роскосмоса" ввиду длительных сроков и высоких затрат на НИОКР. Но, даже в случае применения обычных тяжёлых ракет, это – самый дорогой способ сооружения базы. Согласно формуле Циolkовского, затраты доставки грузов на Луну приблизительно в 10 раз больше затрат доставки на Международную космическую станцию (МКС). Смена экипажа базы при помощи обычной ракетно-космической техники будет в 30–50 раз дороже визитов на МКС.

Вместе с тем, при организации на базе производства ракетного топлива из лунного сырья смена экипажа базы может стать дешевле в 3–5 раз при заправке ракет топливом на Луне. В дальнейшем, при поставках лунного топлива на топливозаправочные станции на низкой околоземной орбите снизится и стоимость отправки к Луне с околоземной орбиты.

Однако организация добычи и переработки лунного сырья ставит под сомнение целесообразность "способа



1. Космический аппарат с грузом металлических слитков, передаваемых с Земли и/или околоземных астероидов.
2. Пенетратор – металлический слиток в форме цилиндра большого удлинения.
3. Элемент системы прецизионного наведения на основе оптических и радиомаяков.
4. Ловушка грузов – контейнер заполненный реголитом или металлическими гранулами.
5. Самоходный комбайн со шнековым устройством для извлечения из входного канала остатков пенетраторов в виде металлического порошка из тормозной среды ловушки.
6. Накопительный бункер сырья для 3D-принтеров и сепаратор смеси металлического порошка и реголита.
7. Принтер 3D-печати на основе робота-манипулятора, для изготовления агрегатов переработки реголита (в металлы и кислород), промышленных и жилых модулей базы и ракет.
8. Ракета, отпечатанная 3D-принтером, стартующая с грузом к месту назначения.

Принципиальная схема передачи порций металла для 3D-принтеров на лунной базе через ловушку грузов системы "Moontrap". Иллюстрация автора.

Бармина". Дело в том, что если на Луне появляется промышленность по производству кислорода не только из воды на полюсах, но также из реголита в других зонах Луны, отходами которой неизбежно будут железо, алюминий, титан, магний и кремний, то "способ Галимова" получает очевидное преимущество, особенно на фоне роботизации производства. Доставив на Луну 3D-принтеры, роботизированные комплексы построят базу из местного сырья. И это обойдется многократно дешевле доставки готовых блоков с Земли, масса которых превышает массу принтеров.

У "способа Галимова", впрочем, тоже есть проблемы с эффективностью. Для работы агрегатов по получению металлов из реголита требуется приблизительно в 200–300 раз больше энергии, чем для печати конструкций базы из металлических расплавов. Скорость выделения металлов из лунного сырья также многократно отстает от скорости нанесения металлов на формируемое изделие. К примеру, требуется 1–2 часа для выделения железа из

лунного ильменита методом прямого восстановления металлов из оксидов водородом. В итоге, агрегаты для переработки лунного сырья оказываются значительно массивнее 3D-принтеров.

“Способ Марвика” избавляет строителей базы от проблем с добывающим и перерабатывающим оборудованием. Сырьё для 3D-принтеров доставляется с Земли и потому практически сразу может быть использовано в строительстве. На первый взгляд “способ Марвика” – это возвращение к “способу Бармина”, так как в обоих случаях масса грузов, доставляемых с Земли, одинакова. Однако это не так – выигрыш и экономия есть.

В “способе Бармина” космический аппарат с грузом совершает реактивную мягкую посадку, тогда как в “способе Марвика” используется способ баллистического нереактивного спуска грузовой капсулы на Луну и ударного торможения в специальном устройстве на поверхности. Дело в том, что большинство видов необходимого для строительства сырых материалов не нуждаются в дорогостоящей мягкой посадке – они способны переносить ускорения в тысячи г. В результате масса груза увеличивается в 7–8 раз за счёт устранения тормозной ступени и запаса топлива для её двигателей. С учётом стоимости устраниённой тормозной ступени стоимость доставки груза на Луну по безракетному “способу Марвика” сокращается на 80–90% по сравнению с ракетным способом.

Тормозное устройство Марвика – это труба длиной 300 м, заполненная аэрозолем, и оснащённая быстродействующим шлюзом на входном торце.

Кapsula с грузом направляется космическим аппаратом во входной шлюз, после прохождения которого она на скорости 2500–3000 м/с входит в газонаполненную трубу с аэрозолем переменной плотности и начинает замедляться за счёт аэродинамического торможения. Средняя величина перегрузок – 1500 г, что значительно меньше перегрузок, испытываемых при выстреле артиллеристским снарядом.

Безракетный “способ Марвика” необходим на этапе разворачивания базы. Затем, по завершению строительства, начинается использование местных ресурсов по “способу Галимова”. В связи с тем, что на Луне – дефицит некоторых веществ, необходимых лунной промышленности, например, углерода, потребуется их доставка с околоземных астероидов и спутников Марса. Это будет на порядки дешевле доставки с Земли. В этом случае безракетный метод посадки грузов на Луну снова будет востребован.

Альтернативный проект “Moontrap” – это проект, в котором система безракетной посадки Эдварда Марвика является прототипом. Недостатки системы Марвика, обусловленные циклическими массогабаритными характеристиками, устранены в системе “Moontrap”.

Масса типичной ловушки грузов “Moontrap” равна 100 т при длине 12 м, однако масса доставляемой с Земли оболочечной конструкции составляет всего 1 т. Ловушка – это цилиндрический тонкостенный контейнер, который заполнен реголитом и оснащён механическими и газодинамическими затворами для обеспечения герметичности после приёма

порций высоколетучих веществ. Реголит выполняет функцию тормозной среды.

Забрасываемые в ловушку грузы, массой 30–50 кг порция, имеют форму пенетраторов – сильно удлинённых цилиндрических контейнеров, заполненных веществами, необходимыми для снабжения базы. Наполнители – жидкий кислород, метан, водород, хлор, фтор, вода. Каждое вещество доставляется в свой тип ловушки.

Для доставки металлов и углерода используются пенетраторы, изготовленные из этих материалов. Ловушки для таких материалов могут быть в виде простых насыпей реголита.

Точность попадания пенетраторов в ловушку обеспечивается теми же способами, что и точность попадания высокоточных ракет и снарядов в цель, наводимых лазерными указателями, радиомаяками и системой GPS. Космический аппарат при помощи навигационной системы выходит на окололунную орбиту. Вдоль проекции орбиты на поверхность Луны размещены лазерные и радиомаяки, задающие точную траекторию движения космического аппарата к ловушке. Достаточна точность – 30–50 см.

Так как у Луны нет атмосферы, то высота орбиты может проходить всего в нескольких метрах над ловушкой. При подлёте к ловушке пенетраторы опускаются вниз из космического аппарата на выдвижной штанге на требуемое расстояние. За несколько секунд до столкновения держатель пенетратора раскрывается и штанга втягивается. Пенетратор продолжает движение и попадает в ловушку со скоростью почти равной скорости космического

аппарата, а сам аппарат переходит на траекторию возвращения к Земле для перезарядки и повторного использования. Возможны более сложные схемы, использующие многократный пролёт аппарата по орбите над ловушкой перед возвращением.

По расчётом РКК "Энергия", цена доставки груза на Луну (например, топлива на обратный путь) составила 52 тыс. долл/кг. Система "Moontrap" сокращает эту цену до 17 тыс. долл/кг, как минимум. Таким образом обеспечивается существенная экономия на замены экипажа базы.

Процесс захвата пенетраторов в твёрдофазных ловушках "Moontrap" отличается от захвата в тормозной аэродинамической системе Марвика. Процесс описывается уравнением, названным именем академика М.А. Лаврентьева, первым понявшим природу высокоскоростного удара. Применение пенетраторов хорошо освоено на практике благодаря военным исследованиям высокоскоростных ударов.

Технология "Moontrap" выгодно сочетается с технологиями обработки реголита водородом с получением в результате металлов для 3D-принтеров и сырья для производства ракетного топлива – воды. Например, подача водорода в коллектор с лунным ильменитом, при температуре 300°С на 1 кг водорода даёт почти 28 кг железа и 9 кг воды. Выход продукции составляет 37 кг, что эквивалентно доставке груза на Луну в среднем по цене 460 долл/кг. Так обеспечивается возможность снабжения базы ресурсами до решения проблемы добычи воды на Южном полюсе Луны.