

ЯДЕРНАЯ ЛУНА

А.О. МАЙБОРОДА

(автор группы изобретений в сфере космического транспорта – патенты США, ЕС и СНГ, член “Московского космического клуба”)

Сегодня, после относительной неудачи российского космического проекта “Луна-25” (первая в современной истории России автоматическая станция 21 августа должна была совершить мягкую посадку на Южном полюсе естественного спутника Земли. Однако 20 августа зонд “Луна-25” разбился, столкнувшись с лунной поверхностью), нарастает волна скептического отношения к перспективам освоения космического пространства, и Луны в частности. Действительно, никаких глобальных проблем лунная гонка пока не смогла решить. Кроме всего прочего, многие эксперты говорят о почти непреодолимых технических и технологических проблемах освоения Луны, и тем более дальнего космоса. Однако концептуальные решения хозяйственного, промышленного освоения Луны уже существуют. Мало того, принципы создания промышленности при помощи ядерной энергии на Луне применимы и к индустриализации Марса, карликовых планет и спутников планет-гигантов. И, как ни странно, недавний отзыв российским парламентом ратификации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) может способствовать тому, чтобы РФ стала лидером в этом процессе.

В 1963 году США, СССР и Великобританией был подписан договор о запрещении ядерных взрывов в трёх средах: космосе, атмосфере и на Земле. Напряжение в мире от ожидания ядерного апокалипсиса спало, но договор вызвал глубокое разочарование среди специалистов, работавших над мирным применением ядерных зарядов в космосе. Были остановлены работы по проекту “Орион”, представлявшего разработку ядерно-импульсного двигателя, использующего маломощные ядерные заряды; заморожено развитие проекта по использованию промышленных “подземных” ядерных взрывов на Луне для масштабного производства кислорода и металлов из лун-

ных пород. Таким образом, договор о запрещении ядерных взрывов в космосе застопорил космическую экспансию и запер человечество на Земле.

* * *

Многие пионеры астронавтики, в частности немец Краффт Эрике, считали, что именно ядерно-импульсные ракеты обеспечат завоевание Солнечной системы. Фримен Дайсон, ключевой разработчик проекта “Орион”, так определил возможные результаты реализации проекта: “На Марс – в 1965 году, на Сатурн – в 1970!” В наше время, по его прогнозам, должны были появиться исследовательские базы и колонии на Луне, Марсе, на спутниках Юпитера

и Сатурна и крупных астероидах. Отказ от применения ядерных зарядов в космосе сделал все это невозможным.

Чистой идеей осталась и детально проработанная концепция промышленного освоения Луны Краффта Эрике. Его концепция была основана на самых эффективных технологиях, таких как транспортные ракеты с импульсными ядерными двигателями, и термоядерные заряды, взрывающиеся для термоллиза лунных пород в целях получения кислорода и металлов. Кислород необходим для заправки химических ракет, металлы – лунной промышленности.

Краффт Эрике мечтал, что в договор будут внесены соответствующие поправки, разрешающие разработку систем с импульсными ядерными ракетными двигателями (ЯРД) и применение ядерных взрывов в промышленных целях, но политики пошли ещё дальше в запретительной деятельности и в 1996 году создали договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Большая часть государств подписали и ратифицировали договор. И вот, в октябре – ноябре 2023 г. Россия отозвала свою подпись под ратификацией ДВЗЯИ.

В настоящее время стоимость доставки грузов на Луну в лучшем случае составляет около 100 тыс. долл. за 1 кг. В порядке вещей цена доставки более 1 млн долл./кг. Чем меньше ракета, тем выше удельная стоимость доставки. Понятно, что на фоне таких цен, постоянно идут разговоры о непрактичности освоения Луны и других небесных тел. Однако, призывы свернуть пилотируемую космонавтику под предлогом непомерных затрат оправданы лишь час-

точно – разумно говорить только о непрактичности космонавтики на основе химических ракет. Сворачивать надо как раз эту техническую основу в виде неэффективных химических ракет и взамен возрождать космонавтику на основе импульсных ЯРД и промышленных камуфлетных ядерных взрывов на Луне, Марсе и других небесных телах.

Вместе с тем химические ракеты могут обрести второе дыхание в случае производства ракетного топлива, прежде всего кислородного компонента, на Луне и Марсе. Как показывал Краффт Эрике, солнечная энергия малоэффективна для масштабного производства топлива и конструкционных материалов из лунного сырья. Промышленные масштабы – это объёмы производства от миллиона тонн в год, что

ЛУНА – МЁРТВОЕ НЕБЕСНОЕ ТЕЛО, СО СМЕРТЕЛЬНЫМ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ ОТ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ГАЛАКТИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ, ПОСТОЯННО БОМБАРДИРУЕМАЯ АСТЕРОИДАМИ И КОСМИЧЕСКИМИ КАМНЯМИ.

пока не под силу солнечной энергетике. Быстро создать ракетно-топливную промышленность на Луне, как показал Краффт Эрике, можно только при помощи промышленных камуфлетных ядерных взрывов. Луна – мёртвое небесное тело, со смертельным для человека радиационным фоном от солнечного ветра и галактических лучей, постоянно бомбардируемая астероидами и космическими камнями. Мощность ударов астероидов подчас превышает мощность ядерных зарядов.

Эрике резонно замечал, что, если производить взрывы термоядерных или ядерных зарядов на достаточной глубине, в толщине лунных пород, поверхностная природная среда Луны нимало не пострадает.

Камуфлетные ядерные взрывы, исключаяющие выход радиации на лунную поверхность, не несут угрозы лунной экосистеме, даже если бы она существовала. Но экосистема как таковая просто отсутствует на Луне. Парадоксально, но искусственную экосистему на Луне в виде отдельных очагов жизни – колоний, можно быстро и недорого создать и поддерживать только при помощи промышленных ядерных взрывов. В мёртвом лунном мире ядерная энергия помогает – созидает жизнь – радиоактивный атом становится “зелёным”.

* * *

Подлунный взрыв освободит большое количество кислорода: ведь его содержание в лунных породах доходит до 40%. Если удалять кислород из взрывной каверны достаточно быстро, в окружающих каверну лунных породах будут образовываться богатые металлические руды. В условиях Земли такая технология не сможет найти применения из-за опасности нанесения ущерба природе. Луна же как будто специально создана для развития на ней взрывной технологии. В отличие от живой земной, лунная мёртвая природа не чувствительна к “загрязняющему” воздействию индустрии. Таким образом, благодаря принципиально новому технологическому фактору энергетический сектор лунной индустрии тесно смыкается с её сырьевым сектором.

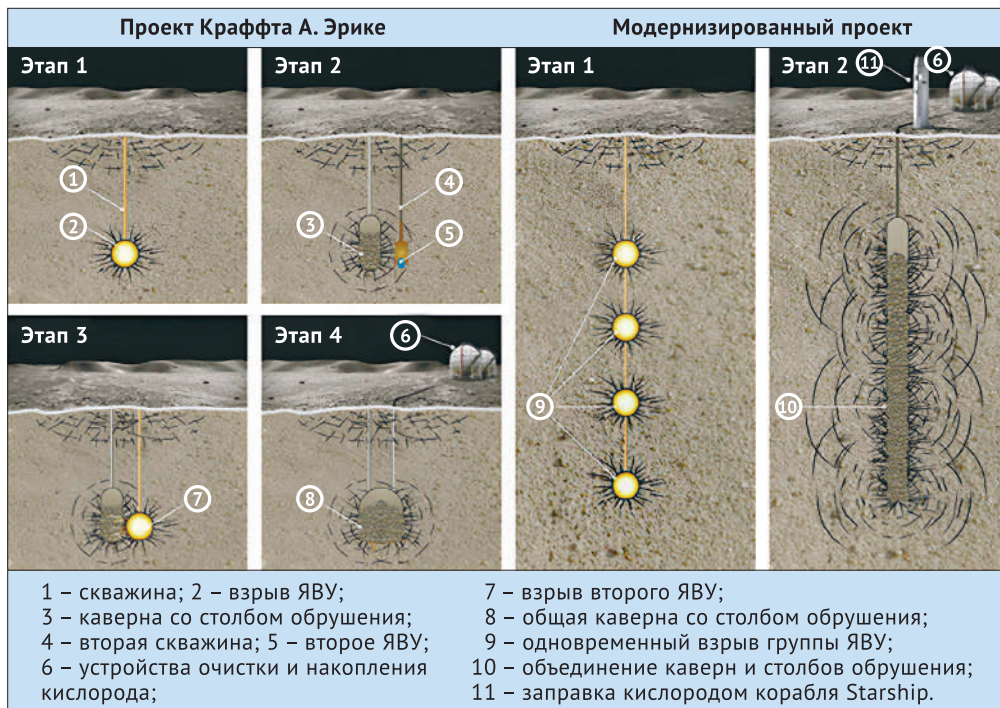
Оценка производства кислорода по технологии Краффта Эрике в соответствии с известными данными по подземным ядерным взрывам даёт следующие цифры. Для получения кислорода выгодно использовать заряды средней и большой мощности, лучше – порядка 1 Мт. Это уменьшает радиоактивное за-

ражение продуктов ввиду минимизированного использования делящихся ядерных материалов – большая часть энергии выделяется за счёт ядерного синтеза. Такие термоядерные взрывы считаются “чистыми”.

При взрыве такой мощности на большой глубине в базальте радиус зоны испарения составляет 20 м; масса испарившегося базальта составит 90 600 т. Содержание кислорода в испарённом камне и термическом разложении оксидов – 36 000 т. С учётом выделения кислорода в зоне плавления, окружающую зону испарения, может дополнительно выделиться от 12 200 до 56600 т O₂.

За зоной плавления идёт горячая твёрдофазная зона смятия и дробления. В ней также может происходить выделение кислорода при разложении оксида железа (FeO). Разложение FeO может дать минимум 50 000 т дополнительно к массе кислорода из зон испарения и плавления. Итоговое выделение: от 98000 т до 143 000 т на 1 Мт. В среднем – 120 000 т O₂.

Таким образом, при годовом расходе термоядерных зарядов суммарной мощностью 8 Мт объём производства кислорода лунной промышленностью достигнет 1 млн т. Масштабы производства могут достаточно быстро наращиваться по мере роста спроса на ракетное топливо для заправки космических кораблей вне Земли. Крупным потребителем лунного кислорода станут компании, реализующие планы колонизации Марса и других небесных тел. Другим потребителем станут компании, ведущие деятельность в околоземном космосе, например, сооружающие спутниковые солнечные электростанции, для снабжения Земли чистой энергией.



Принципиальная схема процесса показана на рис. 1 (этапы 1, 2, 3 и 4). Чтобы предотвратить интенсивное реокисление металлов и кремния, кислород нужно удалить из взрывной каверны так быстро, как это только возможно. С этой целью Эрике предлагает использовать пробуренный заранее канал, идущий с поверхности Луны до размещённой на нужной глубине начальной полости, в которую закладывается ядерный заряд. Между начальной полостью и нижним концом канала оставляется перемычка точно расчётной толщины. При взрыве эта перемычка мгновенно разрушается и горячий кислород по каналу устремится вверх. Над верхним устьем канала должны быть заранее сооружены приёмно-очистные сооружения и ёмкости для хранения кислорода. Однако это не самое лучшее решение.

Технология Крафта Эрике может быть улучшена. На рис. 1 (этапы 5 и 6)

Рис. 1. Взрывная технология извлечения кислорода из лунных пород

показана схема оптимизации процесса. Вертикальное расположение зарядов с одновременным или последовательным подрывом ЯВУ, желательно различной мощности, приведёт к моментальному обрушению сводов каверн и досрочному формированию столба обрушения, тогда как обычно на это уходит относительно длительное время, что приводит к потере кислорода в результате окисления металлов. В результате попадания во взрывные полости со смесью испаренных металлов с горячим кислородом более холодных масс пыли и щебня раздробленной скальной породы и расширения газов температура внутри образовавшейся шахты быстро понизится. Это предотвратит реокисление кремния и металлов. Кисло-

род и расплав на дне шахты также будут разделены обрушившейся породой. При отсутствии трещин, выходящих на поверхность, шахта может использоваться для длительного хранения кислорода, расходуемого по мере роста купальельского спроса. Через несколько лет металлы и кремний могут извлекаться из искусственного месторождения.

Необходимо заметить, что максимальной устойчивостью к наведенной радиоактивности обладают всего несколько элементов: водород, гелий, бериллий, углерод, кислород, свинец. В этом отношении кислород из ядерной полости-хранилища (после очистки от радиоактивной пыли в циклонах) не представляет такой опасности, как например, азот воздуха, очень чувствительный к наведенной радиации.

Глубина камуфлетного взрыва в лунных условиях для заряда мощностью в 1 Мт должна быть в 3000 м от поверхности, что в 2.5 раза больше, чем на Земле. Для заряда мощностью в 400 кт глубина составит 2250 м. При мощности заряда в 9 кт глубина – 625 м.

Буровое оборудование для закладки зарядов на Луне имеет небольшую массу, если использовать давно известный ударно-канатный способ бурения. Специалисты считают что крепкие породы выгоднее бурить ударно-канатным способом даже на глубины больше 1000 м. При этом они отмечают, что механическая скорость ударного бурения в очень крепких породах близка к скорости роторного бурения, а иногда даже равна ей; в то же время затраты на ударное бурение при этих условиях в 2.5 раза меньше, чем на роторное. Разработаны новые способы, при которых механическая скорость бурения возрастает

от 2 до 10 раз по сравнению со скоростью роторного бурения. Для лунных условий ударно-канатный способ является наилучшим.

* * *

Можно оценить себестоимость получения кислорода по способу Краффта Эрике в нынешних ценах. Подрыв заряда мощностью 400 кт создаст 50 тыс. т кислорода, себестоимость которого составит 0.56 долл./кг. Это в 180 тыс. раз меньше стоимости доставки кислорода на Луну традиционным способом!

Доставка бурового оборудования обойдётся дороже – в районе 300 млн долл. в текущих ценах. Однако это оборудование может использоваться многократно – десятки раз. Поэтому в себестоимости единичного взрыва вклад со стороны бурового оборудования не превышает 30 млн долл. в форме амортизации, так как буровой станок будет использоваться по меньшей мере еще на 10 скважинах.

Вклад в издержки со стороны резервуаров хранения кислорода и очистной системы будет незначительным, поскольку полученный кислород хранится в “подземном” резервуаре, а не в наружных емкостях – он расходуется для заправки челноков не одновременно, а порциями. Затраты на доставку накопительно-очистного комплекса оцениваются в 300 млн долл.

Таким образом, с учётом указанных основных стоимостных факторов на первом этапе суммарные затраты составят 390 млн долл. на единичный взрыв. Если масса полученного кислорода равна 50 тыс. т, то себестоимость кислорода составит 7/8 долл./кг.

В дальнейшем, благодаря снижению стоимости полетов на Луну, когда цена доставки грузов с около-

земной орбиты на Луну сократить с 100 тыс. долл./кг, к примеру, до 10 тыс. долл./кг, суммарные затраты на единственный взрыв снизятся до 64.2 млн долл. В этом случае себестоимость кислорода составит 1.3 долл./кг.

Следующий раунд снижения цен на полёты к Луне до 5 тыс. долл./кг собьёт суммарные затраты на единственный взрыв до 46.1 млн долл. Это сократит стоимость кислорода на лунных заправочных станциях до 0.92 долл./кг.

* * *

К сожалению, ракеты на Луне можно заправлять только кислородом, а горючее – водород или метан, придётся доставлять на Луну с Земли. Ракеты с кислородно-водородным двигателем на каждые 100 кг лунного кислорода должны доставить с Земли 20 кг водорода (водород в ракетном топливе берётся с избытком). Ракеты с кислородно-метановым двигателем на каждые 100 кг кислорода должны доставить до 27.9 кг земного метана (тоже с избытком). Это несколько уменьшает массу доставляемого груза, но всё равно выгодно.

Еще в прошлом веке были испытаны двигатели с порошком алюминия в качестве горючего. Были также предложены кислородные двигатели с горючим на основе порошкообразных магния и кремния. Эти три вида горючего производятся на Луне при камуфлетных термоядерных взрывах. Залежи этих веществ могут разрабатываться приблизительно через 10 лет после

их образования на месте взрывов, что, несомненно, внесёт вклад в сокращение стоимости лунного ракетного топлива.

Издержки по созданию скважин также могут быть сокращены, причём космическим методом, реальным на Луне, но недоступным в земных условиях. Первоначальная пробивка скважин может осуществляться потоком тел высокой плотности, например, из железа¹. На рис. 2 показана принципиальная схема такого космического способа пробивки скважин.

Первоначально цепь ударников может запускаться с околоземной орбиты. Затем, на стадии продвинутой индустриализации, запуск может осуществляться с Луны ракетами, заправленными лунным топливом

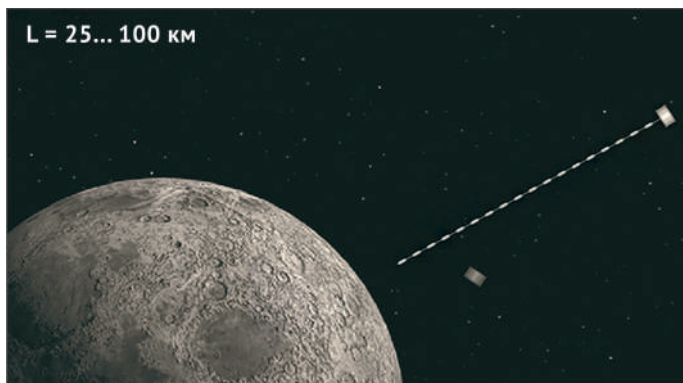


Рис. 2. Цепь из ударников, разворачиваемая на подлёте к Луне

и ударниками из лунного железа. Допустимо использование и базальтовых ударников, хотя это требует увеличения их массы. Ударники могут содержать порции высоколетучих веществ. Диаметр скважин на порядок больше диаметра ударников, поэтому газы от высоколетучих

¹ Майборода А.О. База на Луне: технологично и недорого // Техника – Молодежи. №14. 2017.

чих веществ, выносящие из скважины мелкодробленый базальт, не должны перекрываться потоком ударников.

Полная очистка скважины должна осуществляться традиционным способом, как в обычном ударно-канатном бурении – при помощи желонки. Обычная желонка – это подвешенная на тросе труба с клапаном, которая при ударе о дно скважины захватывает шлам и затем поднимается, вынося шлам на поверхность. Поскольку шлам необходимо смачивать водой, которая дефицитна на Луне, то желонка должна быть модернизирована – клапан заменён на шнек, а ударное движение – на вращение шнека.

На этапе разработки искусственных месторождений металлов, порождённых термоядерными взрывами, возможно создании системы запуска космических кораблей энергией ядерных взрывов как в проекте “Орион”. Проект может быть модифицирован – в качестве источника энергии используются

ядерные взрывы, осуществляемые в стальных камерах, аналогичных большой взрывной камере “Сфера” Взрывного центра ОИВТ РАН.

Герметично изолированные взрывы мощности меньше 0.1 кт осуществляются во взрывных камерах, то есть вне природной среды, без рассеивания делящихся материалов и продуктов цепной реакции. Камеры оснащены окнами, которые в момент взрыва герметизируются газовым (плазменным) затвором. Излучение от взрыва пропускается наружу, а продукты деления и не прореагировавшие уран или плутоний запираются в камере. Делящиеся материалы после очистки могут использоваться повторно. В качестве ядерных зарядов используются заряды, спроектированные в ходе работ по проекту “Орион”. Большая часть их энергии выделяется в виде сфокусированного в одну сторону излучения. В зарядах “Орион” излучение инфракрасное. Могут применяться также маломощные заряды, генерирующие направленное рент-

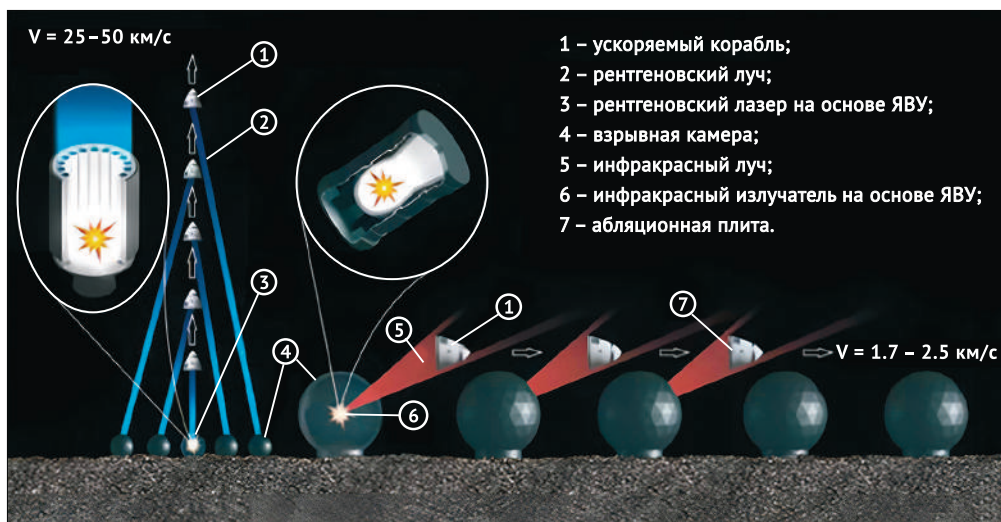


Рис. 3. Запуск грузовых кораблей типа “Орион” сфокусированным излучением камерных зарядов. Графика А. О. Майборорды

геновское излучение. Излучение вызывает абляцию толкающей плиты корабля, что создаёт реактивную тягу с высоким удельным импульсом.

* * *

Индустриализация Луны может привести к созданию космической транспортной системы, основанной на камерных ядерных взрывах, которые генерируют инфракрасные сфокусированные потоки и рентгеновское лазерное излучение. Лунная транспортная система запуска космических аппаратов обеспечит достижение скорости порядка 20–30 км/с и выше.

Принципиальные схемы создания реактивной тяги импульсами излучений из взрывных камер на Луне показаны на рис. 3. Вместе с тем запуски со скоростью в десятки км/с должны быть редки. В основном модернизированная система “Орион” должна эксплуатироваться для запусков со скоростью около 2.5–3 км/с. Такая скорость достаточна для доставки грузов в околоземное пространство и на инопланетные колонии.

Принципы создания промышленности при помощи ядерной энергии на Луне применимы и к индустриализации Марса, карликовых планет и спутников планет-гигантов. За пределами орбиты Марса и пояса астероидов практически невозможно использовать солнечную энергию. Здесь ядерная энергия, особенно в импульсно-взрывной форме, – пока единственный способ быстрой и недорогой индустриализации большей части Солнечной системы.



Рис. 4. Завод по добыче и переработке полезных ископаемых на Луне. Изображение сгенерировано нейросетью Kandinsky 2.2

А атмосферы планет-гигантов содержат доступные запасы термоядерного топлива, которое пока может использовать только в термоядерных зарядах. Термоядерные реакторы, даже если дозреют до промышленного применения, будут на порядок дороже в эксплуатации, чем термоядерные заряды.

Простота и дешевизна индустриализации Луны на основе нуклеизации промышленности, при условии равного доступа к Луне, обеспечит выравнивание уровня развития не только на Земле, но и в космосе. Разумеется, успехи наций в индустриализации Луны будут содействовать их развитию на Земле и выравниваю экономических потенциалов.

Движение в этом направлении можно начинать сегодня. Например, для начала провести испытания на Луне по пробитию скважины цепью стальных ударников, падающих со скоростью 2.5–3 км/с. А завтра осуществить пробный взрыв в недрах Луны.