

Ядерные взрывные технологии – мощный ускоритель внеземной промышленности

Александр Майборода, МКК, 28 декабря 2023

Аннотация: Рассматриваются перспективы и экономические выгоды реализации концепции Краффта Эрике по использованию промышленных ядерных взрывов для индустриализации Луны. Приводятся расчеты стоимости производства кислорода на Луне в промышленных масштабах. Показано, что достижима цена около 1 долл./кг кислорода и объем производства в пропорции 1 млн. т кислорода на 8 Мт мощности промышленных ядерных зарядов. Анализируются возможности реализации настоящей технологии при действующих договорах о военных и мирных промышленных ядерных взрывах, и договоре о космосе. Показывается, что ядерная индустриализация Луны решает проблему строительства космических солнечных электростанций, в том числе в точке Лагранжа между Солнцем и Землей в качестве космической системы регулирования термического режима атмосферы Земли.

Ключевые слова: Московский договор 1963 года, Договоры об ограничении ядерных испытаний 1974 года, Договор о мирных промышленных ядерных взрывах 1976 года, Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), Договор о космосе, термолиз базальта, лунный кислород, ядерно-импульсный двигатель, газофазный ядерный реактивный двигатель, глобальное потепление, космические электростанции.

Введение

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», представлявшему 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 лунных пород. Таким образом, договор по запрещению

ядерных взрывов в космосе застопорил космическую экспансию и запер человечество на Земле.

Многие пионеры астронавтики, в частности 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 должны были появиться исследовательские базы и колонии 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 [1]. Его концепция была основана на самых эффективных технологиях, таких как транспортные ракеты с импульсными ядерными двигателями, и термоядерные заряды, взрываемые для термолиза 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 ЯРД и применение ядерных взрывов в промышленных целях, но политики пошли еще 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, наконец-таки, Россия отозвала ратификацию ДВЗЯИ. Это событие может способствовать тому, чтобы космонавтика России РФ стала лидером в процессе индустриализации небесных тел на основе концепции Краффта Эрике [2]. Концепция ядерной индустриализации Луны и других небесных тел имеет все основания для рассмотрения в качестве составной части национального проекта по развитию космоса, который должен быть принят до 1 июля 2024 года.

В настоящее время не осталось серьёзных правовых препятствий для применения на Луне и других небесных телах мирных промышленных ядерных взрывов в поверхностных слоях. "Заключенный в Москве в 1963 году многосторонний Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой не касался подземных ядерных взрывов любого назначения, а вступивший в силу в 1970 года многосторонний Договор о нераспространении ядерного оружия не распространялся на использование ядерных взрывов для мирных нужд" [3]. В результате переговоров с октября 1974 года по май 1976 года был подписан новый договор.

Договор подтверждает право СССР и США проводить мирные ядерные взрывы в любом месте, находящемся под их юрисдикцией или контролем, за пределами границ испытательных полигонов, обозначенных Договором об ограничении подземных ядерных испытаний ядерного оружия 1974 года (таким образом, все подземные ядерные взрывы,

проводимые вне национальных ядерных испытательных полигонов, считаются подземными ядерными взрывами в мирных целях). Стороны также согласились дополнительно рассмотреть вопрос о проведении отдельных мирных взрывов мощностью свыше 150 килотонн (но после подписания документа такие взрывы не проводились).

Официально документ вступил в силу 11 декабря 1990 года (почти через 15 лет после подписания). Договор о подземных ядерных взрывах в мирных целях тесно связан с Договором об ограничении подземных ядерных испытаний ядерного оружия 1974 года (их называют "пороговыми" договорами, так как они не запрещают, а лишь ограничивают мощность взрывов). Оба документа одновременно вступили в силу. Кроме того, договор 1976 года не может быть прекращен ранее договора 1974 года. В настоящее время оба документа остаются в силе, так как призванный заменить их Договор о запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), подписанный в 1996 году, до сих пор не вступил в действие.

В СССР в 1965-1988 года было проведено 124 мирных взрыва, в ходе которых использовались 135 ядерных устройств мощностью до 140 килотонн.

Действующие договоры утверждают запрет на ядерные взрывы в космосе, но не запрещают мирные промышленные взрывы на небесах телах, так как используемое в договорах понятие «космос» традиционно толкуется как внепланетное пространство и/или как пространство за пределами атмосферы [4]. Таким образом, отсутствует прямой запрет на взрывы в недрах небесных тел, так как понятие «космос» на них не распространяется.

Есть еще договор о космосе (Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела), но его содержание в контексте рассмотренных договоров о подземных испытаниях ядерного оружия и разрешений на мирные взрывы промышленных ядерных устройств, свидетельствует об отсутствии ограничений на реализацию проекта Краффта Эрике.

Статья IV Договора о космосе гласит, что участники Договора обязуются не выводить на орбиту вокруг Земли любые объекты с ядерным оружием или любыми другими видами оружия массового уничтожения, не устанавливать такое оружие на небесных телах и не размещать такое оружие в космическом пространстве каким-либо иным образом. Луна и другие небесные тела используются участниками Договора исключительно в мирных целях. Запрещается создание на небесных телах военных баз, сооружений и укреплений, испытание любых типов оружия и проведение военных маневров. Использование военного персонала для научных исследований или каких-либо иных мирных целей не запрещается. Не запрещается также использование любого оборудования или средств, необходимых для мирного исследования Луны и других небесных тел.

Статья IV не нарушается в случаях мирного применения ядерных взрывов. В контексте договора 1976 года *промышленные ядерные устройства не являются оружием, промышленные ядерные взрывы не являются испытанием оружия*.

Кроме того, возможно полное исключение конверсии промышленных ядерных зарядов в боевые при следующих условиях.

1. Средства доставки заряда с Земли на Луну таковы, что конструктивно не способны войти обратно в атмосферу без разрушения.
2. Доставка промышленных ядерных зарядов на Луну осуществляется отдельными частями – в разобранном состоянии отдельными космическими аппаратами.
3. Сборка зарядов осуществляется непосредственно в скважине – в камере для размещения заряда, находящейся на глубине в тысячи метров, в крайнем случае перед спуском в скважину.
4. Промышленные ядерные заряды после сборки сразу утилизируются и не хранятся дольше необходимого для завершения операции времени после сборки в скважине.
5. Международные наблюдатели имеют технические средства, которые способны дистанционно заблокировать и/или разрушить заряд в случае отклонения от штатной процедуры.
6. Исключить доставку ядерного топлива с Земли – доставлять только безопасный торий-232. Использовать реактор-бридер в котором торий-232, преобразуется в уран-233, который *не подходит для создания зарядов длительного хранения*.

И наконец, любое государство — участник Договора может предлагать поправки к настоящему Договору. В крайнем случае, любое государство — участник Договора может уведомить о своем выходе из Договора. Такой выход приобретает силу по истечении одного года со дня получения этого уведомления.

Рассмотрим, какие новые возможности обретает космонавтика благодаря инопланетным мирным промышленным взрывам.

Технология лунной промышленности

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 частично – 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 объемы производства от миллиона тонн в год, что 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 – мертвое небесное тело, со смертельным радиационным фоном от солнечного ветра и галактических лучей, постоянно бомбардируемая астероидами и космическими камнями. Мощность ударов астероидов подчас превышает мощность ядерных зарядов.

Эрике резонно замечает, 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, исключающие выход радиации на лунную поверхность, не несут угрозы лунной экосистеме, даже если бы она существовала. Но экосистема так 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 мертвом лунном мире, враждебном жизни с Земли, ядерная энергия помогает созидаст жизнь – радиоактивный атом становится «зеленым».

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 природных 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 мертвая 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 [5;6;7] дает следующие цифры. Для получения кислорода выгодно использовать заряды средней и большой мощности, лучше

порядка 1 Мт. Это уменьшает радиоактивное заражение продуктов в виду минимизированного использования делящихся ядерных материалов – большая часть энергии выделяется за счет ядерного синтеза. Такие термоядерные взрывы считаются «чистыми».

При взрыве такой мощности на большой глубине в базальте радиус зоны испарения составляет 20 м, в которой масса испарившегося базальта – 90600 т. Содержание кислорода в испаренном камне и термическом разложении оксидов – 36000 т. С учетом выделения кислорода в зоне плавления, окружающую зону испарения, может дополнительно выделиться от 12 200 до 56 600 т O₂.

За зоной плавления идет горячая твердофазная 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 98 000 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 объем 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 более крупным потребителем станут компании, ведущие деятельность в околоземном космосе, например, сооружающие спутниковые солнечные электростанции для снабжения Земли чистой энергией и/или защиты планеты от избыточной солнечной радиации в ситуации наступления необратимых последствий от парникового эффекта.

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) показана схема оптимизации процесса. Вертикальное расположение зарядов с одновременным или последовательным подрывом ЯВУ, желательно различной мощности, приведет 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. Кислород 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 покупательского спроса. Через несколько лет, металлы и кремний могут извлекаться из искусственного месторождения.

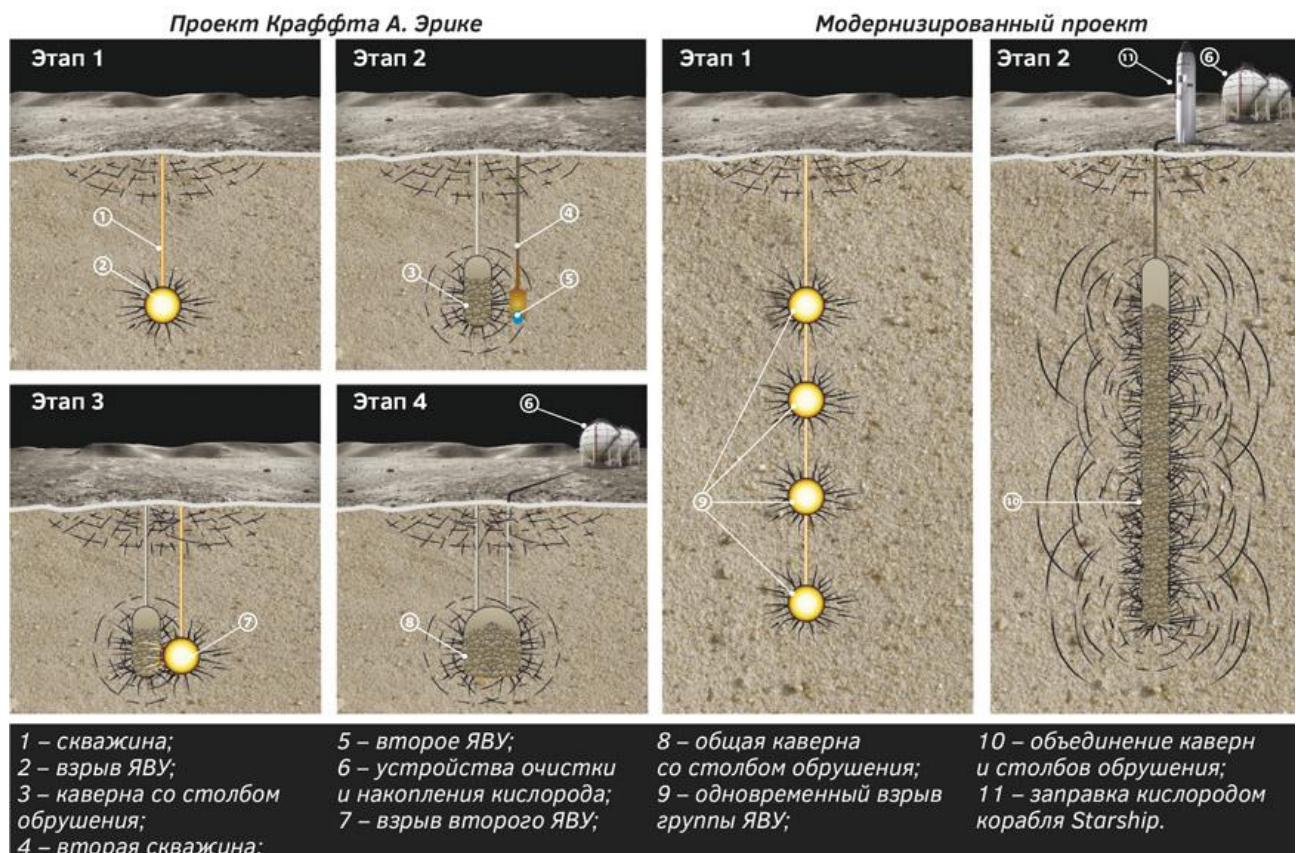


Рис. 1. Взрывная технология извлечения кислорода из лунных пород.

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. В древнем Китае пробивали скважины глубиной более 1200 м, при их бурении применялись инструменты из бамбука и ручной труд. Этот способ, в усовершенствованном виде, применяется до сих пор. Требуется тренога с электролебедкой и буровой инструмент массой 1200 кг.

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

Экономика лунной промышленности

Можно оценить себестоимость получения кислорода по способу Краффта Эрике в нынешних ценах. В качестве прототипа промышленного заряда примем иностранную авиационную термоядерную бомбу Б-61. Её диаметр – 34 см, что соответствует задаче ее доставке в лунные недра через буровую скважину. Другие параметры: длина – 3,6 м; масса – 324 кг, что удобно при доставке с Земли на Луну. Взрывная мощность регулируемая. Максимальная взрывная мощность – предположительно в различных модификациях она составляет либо 340 кт, либо 400 кт. Минимальная – 0,3 кт.

В ценах 1996 года Б-61 стоила 4,9 млн. долл. [8]. В настоящий период себестоимость Б-61 равна 28 млн. долл. Для получения 1 млн. т кислорода (как было установлено в выше изложенном тексте) требуемая мощность должна составить не менее 8 Мт. Согласно этим условиям подрыв заряда типа Б-61 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!

Необходимо также учесть затраты на доставку термоядерного заряда, бурового оборудования и станции откачки, очистки и накопления кислорода. Однако, это не фиксированные величины – они уменьшаются по мере ядерной индустриализации Луны.

Сегодня доставка грузов на Луны составляет в лучшем случае 100 тыс. долл./кг. А завтра, при промышленном производстве кислорода на Луне, и снабжении лунным кислородом многоразовых членков, цена снизится на порядки. В настоящий период доставка

заряда типа Б-61 на Луну будет максимальной – 32 млн. долл. А завтра, при заправке лунным кислородом челноков «Луна – околоземная орбита – Луна», – меньше 2 млн. долл.

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 превысит 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 одномоментно, а порциями. Затраты на доставку накопительно-очистного комплекса оцениваются в 300 млн. долл.

Таким образом, с учетом 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 околоземной орбиты на Луну сократиться со 100 тыс. долл./кг, к примеру, до 10 тыс. долл./кг, суммарные затраты на единичный 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 сбьет суммарные затраты на единичный взрыв до 46,1 млн. долл. Это сократит стоимость кислорода на лунных заправочных станциях до 0,92 долл./кг.

Технологические перспективы – взрывные и невзрывные ядерные технологии

К сожалению, ракеты на Луне можно заправлять только кислородом, а горючее – водород или метан придется доставлять на Луну. Ракеты с кислородно-водородным двигателем, на каждые 100 кг лунного кислорода должны привести с Земли 20 кг водорода (водород в ракетном топливе берется 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 все равно выгодно. Это также более выгодно и проще, чем производство водорода из лунной воды.

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.

Издергки по созданию скважин также могут быть сокращены, причем космическим методом, реальным на Луне, но недоступным в земных условиях. Первоначальная пробивка скважин может осуществляться потоком тел высокой плотности, например, из железа [9]. На рис. 2 показана принципиальная схема такого космического способа пробивки скважин.

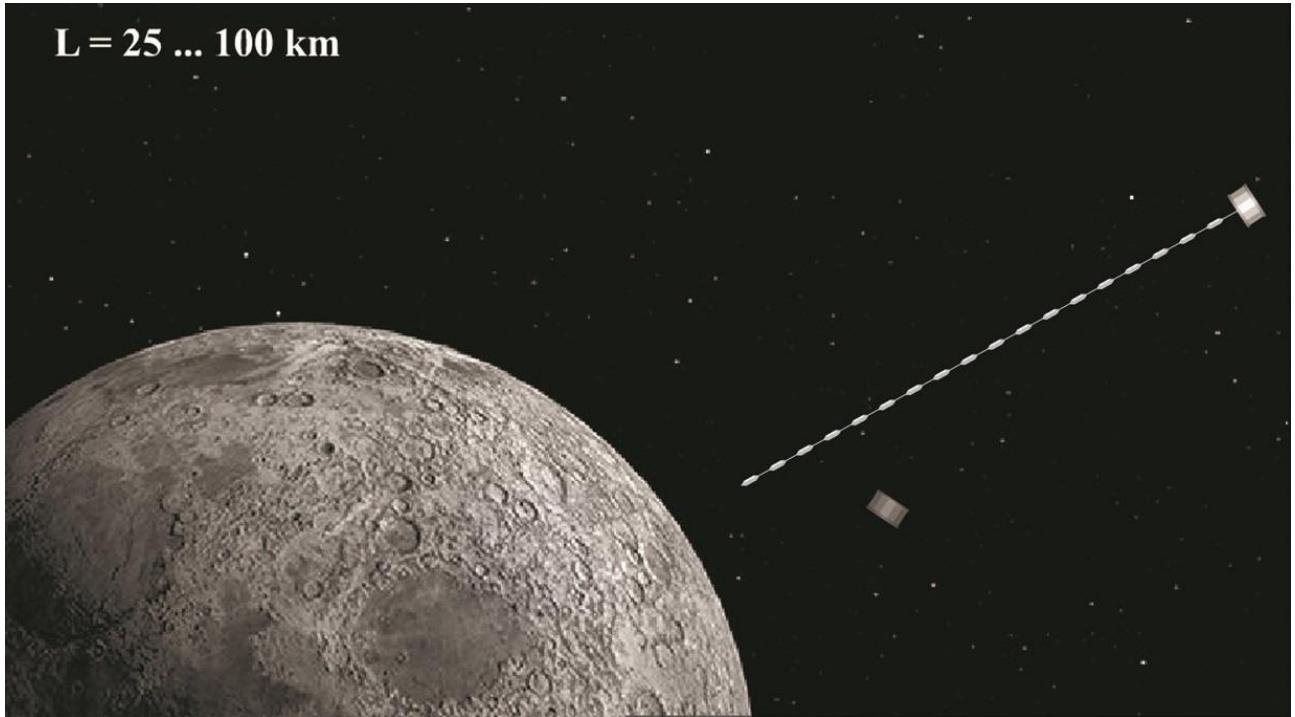


Рис 2. Цепь из ударников, разворачиваемая на подлете к Луне.

Первоначально цепь ударников может запускаться с околоземной орбиты. Затем, на стадии продвинутой индустриализации, запуск может осуществляться с Луны ракетами, заправленными лунным топливом 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 веществ, выносящие из скважины мелкораздробленный 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 заменен на шнек, а продольное движение желонки – на вращение шнека.

На этапе разработки искусственных месторождений металлов, порожденных термоядерными взрывами, имеющих суммарную массу в сотни тысяч и миллионы тонн, возможно создание 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 из лунного металла, аналогичных большой взрывной камере «Сфера» Взрывного центра ОИВТ РАН. Масса камеры с подставкой – 850 т.

В таких взрывных камерах ядерные мини взрывы мощности меньше 0,001 кт осуществляются вне природной среды, герметично, изолировано, без рассеивания делящихся материалов и продуктов цепной реакции. Непрореагировавшие делящиеся материалы не пропадают и после очистки используются повторно, что позитивно сказывается на экономике применения малых ядерных зарядов.

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 используется 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 рентгеновское излучение. Излучение вызывает абляцию толкающей плиты корабля, что создает реактивную тягу с высоким удельным импульсом.

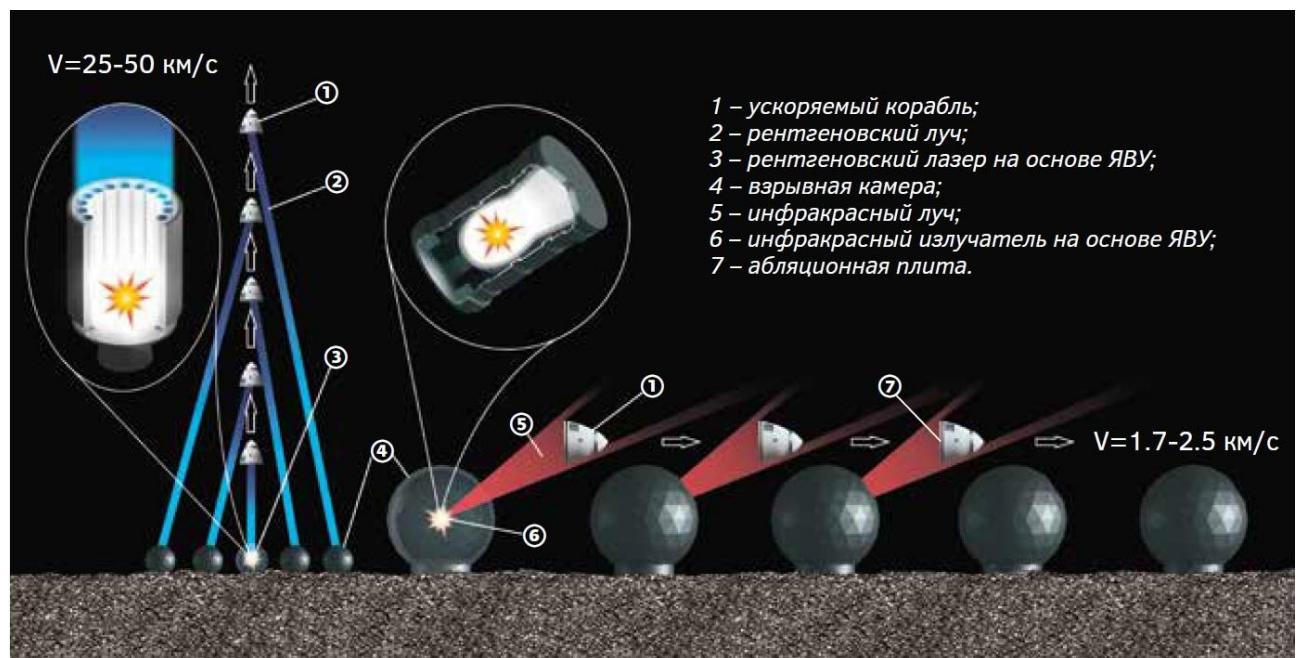


Рис. 3. Запуск грузовых кораблей типа «Орион» сфокусированным излучением камерных зарядов.

Индустириализация 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 достижения 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 сверхэкономичной доставки грузов в околосземное пространство и на инопланетные колонии.

Краффт Эрике рекомендовал некоторые новаторские транспортные схемы – для запуска транспортных кораблей с поверхности Луны предлагал использовать давление газов, нагреваемых при «подземном» ядерном взрыве и направляемых в своего рода пушечный ствол. Предложенную Краффтом Эрике систему можно условно назвать ядерно-артиллерийским ускорителем. Такой ядерно-артиллерийский ускоритель космических аппаратов выбрасывает продукты деления и остатки непрореагировавших урана или плутония в космическое пространство со скоростью, значительно превышающей лунную первую космическую, что устраняет проблему радиоактивного загрязнения. Однако для маломощных ядерно-взрывных устройств, используемых в ускорителе, характерен низкий процент использования дорогого делящегося материала – большая его часть не участвует в цепной реакции и рассеивается при взрыве.

С учётом политического требования исключения взрывных процессов предлагается альтернативная система невзрывного использования ядерной энергии. В ней разгон аппарата в укорительной трубе осуществляется не газовым потоком, исходящим из взрывной камеры, но установленным на аппарате газофазным ядерным реактивным двигателем (ГФЯРД) открытого цикла. Трудноразрешимая проблема применения ГФЯРД – это вынос непрореагировавшего ядерного горючего вместе с рабочим телом (до 50%), что сильно снижает энергетические и экономические характеристики ракеты. Такие двигатели предельно просты, в отличие от ГФРД замкнутого цикла, но не применяются по причинам экономическим, а не техническим. НИОКР по тепловыделяющим элементам ГФЯРД близкой схемы проводились в СССР [10].

Сущность предложения в том, что разгон ракет газофазным двигателем производится только в герметичном трубопроводе (с быстродействующим шлюзовым выходом), и ядерное горючее, выносимое рабочим телом, остаётся в трубопроводе, а не рассеивается в космическом пространстве. Извлечение ядерного топлива из трубопровода возможно

различными несложными способами. После очистки собранное топливо может использоваться повторно.

Таким образом, зона лунного пространства создаёт условия для реализации простейшего в реализации ГФЯРД. Для вывода грузов с Луны со второй космической скоростью линейные размеры трубы такого накопителя ракетного выхлопа составят около 3 км, если его ускорение будет на уровне твердотопливных ракет, таких как «Спринт» или «Рейнботе».

Представляется перспективным исследовать использование ГФЯРД открытой схемы в качестве реактора-бридера в котором в качестве сырья используется торий-232, преобразуемый в уран-233, чтобы нарабатывать ядерное топливо в количестве, превышающем потребности самого ГФЯРД. Это избавит от необходимости доставлять ядерное топливо с Земли. При этом *уран-233 не подходит для создания ядерных зарядов длительного хранения* (по сравнению с типовым оружейным ураном-235) из-за сложно отделимой примеси урана-232, продукты распада которого создают жёсткое проникающее излучение. Уран-232 обладает сильнейшим тепловыделением, нарушающим стабильность производимого ядерного оружия.

Принципиальные схемы ядерного взрывного ускорителя Краффта Эрике и невзрывной системы запуска ракет с ГФЯРД открытого цикла показаны на рис. 4.



Рис. 4. Невзрывная транспортная технология – запуск грузовых кораблей с газофазным ядерным ракетным двигателем открытой схемы. Способ изоляции и накопления выхлопа газофазного реактора открытой схемы.

Известны ядерные технологии невзрывного типа, которые также с высокими показателями производительности способны трансформировать лунные породы в кислород, металлы и кремний.

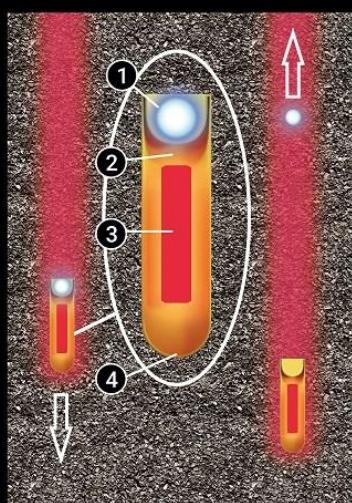
Схема высокотемпературных ядерных реакторов обладает большим потенциалом развития в аспекте дальнейшего повышения температуры. Применяемые в них солевые и металлические теплоносители позволяют достигать температуры выше температуры плавления и разложения базальта.

Известен проект «атомной иглы» – миниатюрного реактора диаметром всего 60 см. Реактор должен быть заключён в теплоизолирующий футляр из окиси бериллия с тяжёлым вольфрамовым наконечником. Принцип действия «атомной иглы» следующий: высокие температуры, создаваемые в реакторе (свыше 1100 °C), приведут к плавлению скальных пород, на которые помещается реактор вольфрамовым наконечником, и, соответственно, к погружению реактора вглубь Земли. На глубине примерно 32 км вольфрамовое остриё должно отделиться, а лёгкий реактор всплывёт к поверхности, поднимая с собой пробы вещества из глубин планеты.

Рис. 5. Варианты применения «атомной иглы» для добычи ресурсов

Заглубление ЯВУ «атомной иглой»

Фаза I – спуск Фаза II – подъём РАИ



1 – реактор «атомной иглы» (РАИ)

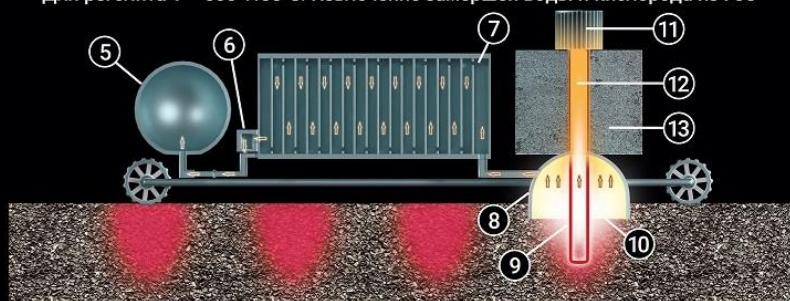
2 – металлический теплоноситель.

3 – ЯВУ на основе карбидов урана, с пневматикой вместо ВВ.

4 – вольфрамовый корпус

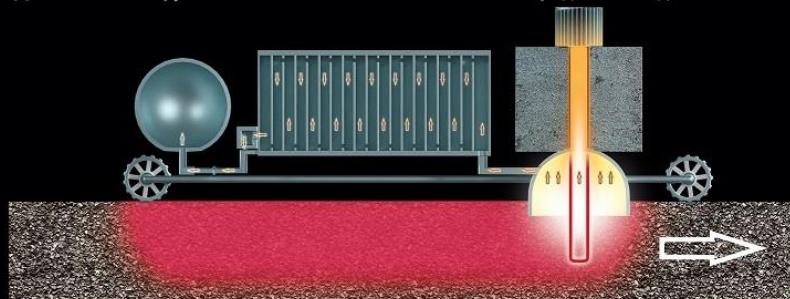
Дискретное извлечение газов во время остановок

Для реголита $T = 500-1100^{\circ}\text{C}$. Извлечение замершей воды и кислорода из FeO



Непрерывное извлечение газов во время движения

Для скального грунта $T = 1400-2850^{\circ}\text{C}$. Извлечение кислорода из оксидов металлов



5 – накопитель сжатого кислорода;

6 – компрессор;

7 – холодильник-излучатель охлаждения, входящего O₂;

8 – газосборное устройство;

9 – нагретая или расплавленная порода;

10 – тепловая игла (теплообменник с металлическим теплоносителем);

11 – холодильник-излучатель избыточного тепла реактора;

12 – ядерный реактор;

13 – антирадиационная защита из реголита (толщина $\approx 2,5$ м).

Rис. 5. Невзрывная технология извлечения кислорода из лунных пород термолизом реголита теплотой от высокотемпературного ядерного реактора.

Аналогичное устройство целесообразно применить на Луне для термического разложения базальтовых пород на компоненты – кислород, железо, прочие металлы и кремний. В реакторах, оснащённых радиационной защитой, нагревающих лунные породы теплообменником с металлическим теплоносителем, получаемые металлы и кремний не будут подвергаться наведённой радиации. В теплообменниках могут использоваться апробированный теплоноситель Bi-Sn-Pb-Cd с температурой плавления около 70°C и температурой кипения 1700 °C и олово с соответствующими температурами – 232°C и 2620°C.

Принципиальные схемы применения высокотемпературных реакторов для переработки лунного сырья показаны на *рис. 5*.

Ядерная лунная промышленность и земная экология

Существует по меньше мере два направления космической деятельности, которые нуждаются в дешевом лунном ракетном топливе, производимом в промышленных масштабах: сооружение спутниковых солнечных электростанций; создание космического экрана, регулирующего поступление солнечного излучения. Проекты требуют доставки миллионов тонн конструкционных материалов в зоны строительства. Луна является наилучшим местом добычи строительных материалов и ракетного топлива. Однако, без ядерной индустриализации Луны невозможно реализовать проекты в разумные сроки. Оба направления решают важные экологические проблемы – замену ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии и защиту планеты от глобального потепления.

Планы замены ископаемых источников энергии возобновляемыми источниками, как показала практика, не могут быть реализованы в требуемые сроки. Одним из эффектов глобального потепления становится таяние вечной мерзлоты, а с ней и размораживание источников метана. Метан – парниковый газ, многократно более сильный, чем диоксид углерода. Рост выбросов метана из природных источников способен аннулировать все усилия по предотвращению выбросов парниковых газов антропогенного характера.

При таком негативном сценарии потребуются иные средства предотвращения глобальной климатической катастрофы. К их числу таких известных средств относится космическая система регулирования температуры – барражирующий авторегулятор климата. Это проект защиты Земли от глобального потепления с помощью большого «зонта». Проект разработан сотрудниками ракетно-космической корпорации «Энергия» [11;12].

Главным элементом космического энергоклиматического комплекса, который выполняет регулировку термического режима земной атмосферы, является корабль с солнечным парусом – барражирующий авторегулятор климата (БАРК). Он запускается в точку

Лагранжа между Солнцем и Землей (на расстоянии 2,57 миллиона километров от планеты) и перекрывает часть потока солнечного излучения.

Разработаны два варианта солнечно-парусного корабля (СПК) БАРК. Простейший вариант, который уменьшает среднюю температуру атмосферы Земли на 0,3°C, имеет радиус 220 км, а массу конструкции – 800 тысяч т и массу балласта 2,95 млн т. Всего 3,75 млн т. Другой вариант, представляющий космическую электростанцию, имеет массу полотнища, уменьшающего среднюю температуру атмосферы Земли на 1,5°C, равную 6 млн т, и массу собственно корабля (с полотнищем) — 12 млн т. Для нахождения в зоне точки либрации на расстоянии 2,57 млн км от Земли, обеспечивающем минимум массы корабля, корабль должен быть загружен «балластом» массой равной 44 млн т.

Простейший вариант комплекса, в случае его запуска в 2070 году, будет способен уменьшить за 30 лет глобальную температуру на планете на 0,3 градуса Цельсия. Специалисты РКК «Энергия» призывают начать реализацию проекта как можно как можно раньше — до исчезновения полярных шапок на Земле. Однако ясно, что при существующих космических технологиях даже случае своевременного решения о реализации проекта, скорость строительства будет недостаточна и реализация проекта потребует ядерной индустриализации Луны.

Следует заметить, что на этапе многолетнего развёртывания комплекса БАРК, в качестве временной меры по уменьшению глобальной температуры целесообразно использовать лунный реголит для создания «солнечного щита» непосредственно в верхних в слоях атмосферы Земли. Масса атмосферного щита должна быть в 3,14 - 4 раза больше массы плоского космического щита в зависимости от формы экрана — виде замкнутой ленты, опоясывающей планету, или в виде сферы.

Для экрана в форме ленты на основании расчетов проектантов комплекса БАРК следует, что, к примеру, при насыщении верхних слоев атмосферы лунной пылью массой до 18,85 млн т, со средним диаметром частиц 1 мкм, возможно понижения средней температуры на 1,5°C, как при использовании комплекса БАРК массой 56 млн. т. Разовые затраты ресурсов сокращаются в 3 раз, но в связи с опусканием частиц пылевого экрана на дно атмосферы требуется постоянная подпитка лунной пылью верхних слоев атмосферы или разовая ежегодная подпитка. Точный интервал трудно определить без опытов, так как пыль провоцирует образование серебристых облаков на высотах 70-95 км, что увеличивает отражательную способность атмосферы и продлевает эффект за счет присоединения кристаллов земной воды.

Для понижения средней температуры на 0,3°C, масса атмосферного пылевого экрана не превысит 2,5 млн т, вместо 3,75 млн т упрощённой версии комплекса БАРК, что в 1,5 раза меньше.

Результат аналогичен понижению температуры при вулканических выбросах. Однако, в отличие от извержений вулканов, процесс понижения световой проницаемости атмосферы может осуществляться постепенно и регулироваться на основе обратной связи, без наступления «вулканической зимы».

Экран массой 2,5 млн т может быть создан в течение 1 года при ежедневной доставке реголита массой в 6,886 тыс. т. Лунный челночный корабль класса Starship, использующий лунное топливо, способен доставлять до 550 т реголита за рейс. В сутки требуется 12,5 рейсов. С учетом недельной длительности полета по трассе Луна-Земля-Луна требуется флот из 88-90 кораблей. Потребление лунного топлива составит 5-10 млн. т в год при расходе ядерных зарядов суммарной мощностью 40-80 Мт.

Лунная пыль сбрасывается по касательной к условной границе атмосферы со скоростью близкой ко второй космической и входит в атмосферу на высотах 90-110 км, где подвергается торможению и дроблению. С учетом фактического диаметра частиц, который должен быть меньше расчетного, масса пылевого экрана будет меньше проектных 2,5 млн т. Тем не менее и принятая величина массы экрана соответствует возможностям производства лунного ракетного топлива промышленными ядерными взрывами.

Перенос лунной пыли в атмосферу Земли может иметь дополнительный полезный эффект в виде очистки пространства низких орбит от космического мусора, на основе проекта Гурудаса Гангули (Gurudas Ganguli) с коллегами из Исследовательской лаборатории ВМФ США. Он предложил метод очистки низких околоземных орбит при помощи вольфрамовой пыли [13;14]. Пыль необходимо выбросить на высоте 1100 км с первой космической скоростью. Пылевое облако вольфрамовых частиц, создаст сферическую оболочку вокруг Земли толщиной 30 км. Для этого потребуется примерно 20 т пыли. Размер частиц пыли – около 30 мкм. Сопротивление атмосферы, а также действие планетоцентрического эффекта Пойнtingа-Роберстсона приведут к медленному сжатию оболочки и ее приближению к Земле.

Примерно за 10 лет облако опустится до критической высоты в 900 км, после чего сжатие пойдет быстрее. Облако вольфрамовой пыли будет тормозить мелкие фрагменты космического мусора. На полную очистку в зоне низких орбит уйдет примерно 25 лет. Считается, что большого вреда активно функционирующему космическим аппаратам пыль не принесет.

Новые возможности, создаваемые масштабным производством лунного топлива, позволяют применить лунную пыль вместо вольфрамовой пыли. Это потребует

дополнительного расхода топлива для вывода лунной пыли на круговые орбиты и создания производства на Луне для просеивания реголита и отбора частиц требуемой величины – меньше 10 мкм. Лунная пыль должна расходоваться в значительно большем количестве, чем вольфрамовая, возможно потребуется порядка 10 тыс. тонн пыли, но низкая стоимость ее доставки оправдывает её использование вместо вольфрама. В процессе доставки 2,5 млн т реголита, затраты на создание пылевого облака массой в 10 тыс. т для удаления космического мусора не являются значительными.

Крупные фрагменты космического мусора будут удаляться типовыми космическими аппаратами, использующими дешевое лунное ракетное топливо.

Выводы

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

Лунная промышленность на новых физических принципах может стать трамплином для промышленно слабых стран и преодоления отставания в космической гонке. Простота и дешевизна индустриализации Луны на основе нуклеизации промышленности, при условии равного доступа к Луне, обеспечит выравнивание уровня развития если первоначально не на Земле, то в космосе. Разумеется, успехи наций в индустриализации Луны будут содействовать их развитию на Земле и выравнивать экономических потенциалов.

Целесообразно рассмотреть проект ядерной индустриализации Луны в качестве стратегического плана разрабатываемого в настоящее время *национального проекта по развитию космической отрасли*. С участием специалистов РКК «Энергия» следует провести инициативную НИР с привлечением специалистов из космической отрасли стран БРИКС.

Необходимо изучить правовую необходимость дополнения Договора о космосе соглашением о мирных промышленных ядерных взрывов на Луне и других небесных телах по примеру дополнения договора 1974 года по военным ядерным испытаниям договором 1976 по

мирным применением ядерных зарядов. В настоящее время отсутствуют прямые запреты на инопланетные мирные промышленные взрывы.

Договоры 1974 и 1976 годов желательно дополнить запрещением подземных ядерных испытаний на Земле и прямым разрешением инопланетных «подземных» (подповерхностных) промышленных ядерных взрывов.

Движение в этом направлении можно начинать сегодня. Например, для начала провести следующие эксперименты:

- испытания на Луне по пробитию скважины цепью стальных ударников, падающих со скоростью 2,5-3 км/с;
- пилотное тестирование технологии распыления реголита (его аналога) в атмосфере с ИСЗ для создания защитного экрана от избыточного солнечного излучения;
- и наконец осуществить пробный *промышленный* взрыв в недрах Луны.

Литература

1. **Краффт А. Эрике.** Будущее космической индустрии: пер с англ. М.: Машиностроение, 1979. 200 с.
2. **Майборода А. О.** Лунная промышленность на новых физических принципах [Электронный ресурс] // Независимая газета. 12.12.2023. Электронная версия. URL: https://www.ng.ru/nauka/2023-12-12/9_8900_moon.html (Дата обращения: 12.12.2023)
3. ТАСС. 27 мая 2016, Договор между СССР и США о подземных ядерных взрывах в мирных целях. Досье. [Электронный ресурс] URL: <https://tass.ru/info/3319148> (Дата обращения: 19.11.2023).
4. **Квасников А. Ю.** Космическое пространство [Электронный ресурс]// Большая российская энциклопедия. URL: https://old.bigenc.ru/military_science/text/2101578 (Дата обращения: 19.11.2023).
5. **Майборода А. О.** Ядерная индустриализация Луны // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 4. С. 68-77.
6. Действие ядерного оружия: перевод с англ. М.: Воениздат, 1963. 683 с.
7. **Нифонтов Б.И., Протопопов Д.Д., Ситников И.Е., Куликов А.В.** Подземные ядерные взрывы [Электронный ресурс]// М.: Атомиздат. 1965. 160 с. URL: https://elib.bibliatom.ru/text/nifontov_podzemnye-yadernye-vzryvy_1965/p0/ (Дата обращения: 19.11.2023).

8. The Brookings Institution. What Nuclear Weapons Delivery Systems Really Cost. [Электронный ресурс] URL: <https://www.brookings.edu/what-nuclear-weapons-delivery-systems-really-cost/> (Дата обращения: 15.03.2021).
9. **Майборода А. О.** База на Луне: технологично и недорого // Техника-Молодежи №14. 2017.
10. **Лиознов Г.** Газофазные ядерные двигатели для космических аппаратов // Двигатель. 1999. № 5. С. 41-43.
11. **Сизенцев Г.А., Синявский В.В., Соколов Б.А.** Концепция космического энергоклиматического комплекса для парирования превышения допустимого уровня глобальной температуры // Космическая техника и технологии. 2019. № 1(24). С.107–119.
12. **Коротеев А.С., Семенов Ю.П., Семенов В.Ф., Сизенцев Г.А., Синявский В.В., Соколов Б.А., Сотников Б.И.** Космическая техника и космонавтика в решении экологических проблем мировой энергетики XXI века // Известия РАН. Энергетика. 2006. № 1. С. 142–155.
13. **Ключников В. Ю.** Как очистить околоземное пространство от космического мусора? // Воздушно-космическая сфера. 2019. №1(98). С. 96-107.
14. **Gurudas Ganguli, Christopher Crabtree, Leonid Rudakov, Scott Chappie.** A Concept For Elimination Of Small Orbital Debris // Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, 10 (ists28), April 2011. P. 5.