

УДК 629.785:523.3

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804172017102767>

В. М. Харебов¹, *ведущий инженер,*
В. О. Сидорук², *заместитель начальника комплекса,*
Д. С. Листов³, *инженер*

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

En The absence of an atmosphere on the Moon gives a number of advantages (there are no clouds, dustiness of the atmosphere, absorption of the light flux emitted by the Sun, etc.) dealing with the converting of solar energy into electric energy. The surface of the Moon receives much wider range of radiation than on the Earth. The creation of the Lunar Solar Electrical Station (LSES) involves the placement of solar cells and ultrahigh-frequency (microwave) radiating antennas on the Moon's surface for the accumulation and transmission of energy to the Earth in the form of microwave radiation. The appearance and functioning of the station depend on the area for the solar collectors placement, the length of power lines and the use of energy storage. The question is considered regarding micrometeorites, which can cause substantial damage of the objects or elements of LSES and its technical solution. The analysis shows the urgency of LSES creating as an integral part of the Earth's energy supply system.

The content of helium-3 on the Moon is 10 thousand times higher than on the Earth and there is no scattering in the atmosphere, helium-3 settles in the regolith (the upper layer of the lunar soil). The possibility of its extraction and use as a nuclear fuel for reactors in which controlled thermonuclear fusion (a reaction of deuterium with helium-3) is possible, can be considered as the second phase of the power plants creation on the Moon.

Creation of the energy supply system of the Earth with the help of power plants placed on the surface of the Moon requires the creation of world cooperation of all leading space states. It is "clean" energy that can save the Earth from the impending energy crisis and prevent further pollution of the environment.

Ua У зв'язку із ростом світового енергоспоживання, вичерпання ресурсів може статися вже у цьому столітті. Саме тому розглядаються перспективи створення альтернативних джерел енергії на базі місячних систем енергозабезпечення Землі.

Вступление

Проблемы человечества с увеличением энергозатрат и пути создания экологически чистой энергетики.

¹ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля

² Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля

³ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля

В связи со значительным увеличением населения Земли, существует объективная необходимость увеличения энергозатрат, связанных с вовлечением в эксплуатацию все более бедных и труднодоступных источников минерального сырья, вторичной переработки отходов. Рост мирового энергопотребления неизбежен, как следствие истощение традиционных энергоресурсов может наступить уже в этом веке. Уже сегодня необходимо серьезно рассматривать альтернативные варианты систем энергоснабжения. Актуальным проектом является создание подобной системы в космосе, в частности размещение на поверхности Луны солнечной станции энергоснабжения. Отсутствие атмосферы на Луне дает ряд преимуществ (отсутствуют облака, запыленность, поглощение светового потока, излучаемого Солнцем и др.) по преобразованию солнечной энергии в электрическую. Кроме того на поверхность Луны поступает гораздо более широкий диапазон излучений, чем на Земле.

Постановка задачи

Создание лунной электростанции и передача энергии на Землю.

Способы передачи энергии

Создание лунной солнечной электростанции (ЛСЭС) изначально подразумевает, что этап создания лунной промышленно-исследовательской базы с персоналом уже завершен и освоено производство из лунного сырья материалов для агрегатов лунного энергоизлучающего комплекса – железа, кремния и алюминия.

Основной причиной, заставляющей создавать мощные солнечные батареи (СБ) вне Земли, является, как это ни парадоксально, их опасность для окружающей среды. Производство электроэнергии с помощью солнечных батарей экологически безопасно, но вот само их создание загрязняет окружающую среду различными вредными веществами.

ЛСЭС подразумевает размещение солнечных батарей и сверхвысокочастотных (СВЧ) излучающих антенн на поверхности Луны для преобразования и передачи энергии на Землю в виде СВЧ-излучения напрямую и/или с задействованием пассивного плоского ретранслятора на геостационарной орбите.

Инженерная идея ЛСЭС заключается в следующем: с помощью доставленного на Луну с Земли высокопроизводительного оборудования, из лунного сырья изготавливаются два важнейших элемента энергоизлучающего комплекса – источник электроэнергии (солнечная батарея и передающий радиотехнический комплекс). СБ вырабатывает постоянный ток, снабжающий генераторы СВЧ-диапазона, совмещенные с ФАР, в свою очередь ФАР формирует энергетический СВЧ-луч, наводимый на назем-

ную приемную антенну (ректенну) на прямую либо посредством ретранслятора на геостационарной орбите (ГСО). В ректенне осуществляется преобразование микроволнового излучения в постоянный ток, выдаваемый потребителю.

Ректенна представляет собой высокоэффективную приемно-преобразующую систему. К обычной дипольной антенне размером несколько сантиметров (порядка длины волны излучения) подключают быстродействующий диод Шоттки. Множество таких антенн собирают в единую антенную решетку, покрывающую достаточно большую площадь. Приходящая электромагнитная волна наводит ЭДС на антенном полотне, через диод детектируется, на выходе получается пульсирующий постоянный ток. Для создания мощного канала нужны большие площади ректенн с огромным числом маленьких диполей и диодов. Подсчитано, что для передачи с геостационарной орбиты пяти гигаватт мощности придется строить передатчик в космосе диаметром в 1 километр и приемник на Земле диаметром в 10 километров.

Угроза для безопасной работы ЛСЭС – это микрометеориты, которые могут повредить преобразующие элементы СБ. Плотность столкновений метеороидов с плоской поверхностью в окололунном пространстве составляет 0,16 попаданий на 1 м^2 в сутки. Скорости метеороидов составляют порядка 13...18 км/с. Панели солнечных элементов необходимо сделать сегментированными для их оперативной замены. Замену неисправных сегментов можно производить автоматически с помощью координатного позиционного механизма перемещающегося по двум осям и захватного устройства. Вариант установки солнечных элементов может быть со строго фиксированным расположением с полным покрытием поверхности или крепление отдельных панелей на управляемых стойках.

Возможность реализации размещения СВЧ-ретрансляторов на ГСО вызывает серьезные сомнения. Маловероятно, чтобы это оказалось технически и экономически приемлемым и допустимым по условиям загрязнения околоземного пространства размещать такие громоздкие объекты. Согласно расчетам ученым, хотя ретрансляторы могут заполнить пробелы в энергоснабжении (имеющиеся при прямой передаче энергии), КПД передачи через ретранслятор значительно падает. Поэтому данный метод целесообразно исключить из рассмотрения.

Считается, что недостатком ЛСЭС без ретрансляторов на ГСО, является непостоянство подачи энергии потребителям, связанное с естественными причинами – вращением Земли вокруг Солнца и собственной оси, вращением Луны вокруг Земли и непостоянством угла падения лучей Солнца на СБ, размещенные на Луне. Решение этой проблемы возможно путем применения так называемой двухпозиционной схемы. В ней два энергоизлучательных комплекса размещаются на экваторе вблизи противоположных краев видимого с Земли лимба Луны и, освещаясь попере-

менно Солнцем, выдают на Землю электроэнергию без перерывов. СБ и ФАР соединены линией электропитания.

При однопозиционной ЛСЭС появляется «ночной провал» протяженностью 14 суток, а переменность энергосвыработки в течение 14 суточного дня объясняется существенным изменением интенсивности падающего излучения – нулевой на «восходе» и «закате», максимальной – через 7 суток после «восхода», что характерно для неориентированной СБ, плоскость которой совпадает с местным горизонтом. Возможно, ликвидировать «ночной провал» путем размещения двух ЛСЭС, например, через 180° по экватору по краям лимба. При этом выработка энергии за лунные сутки существенно увеличится и исчезнет ночной провал. К сожалению, потери от низкой эффективности СБ в утренние и вечерние часы (при малых углах возвышения Солнца над горизонтом) оказываются значительными. Попытка улучшить ситуацию по двухпозиционной ЛСЭС «сблизив» их по угловому положению до 120° также не дает успеха. Действительно, длительность непрерывного (хотя также непостоянного по величине) энергообеспечения увеличивается с 14 до примерно 24 суток, однако возникает полный провал длительностью приблизительно 4 суток. Техническая возможность заполнить 4-х суточный провал, в принципе, есть – например, накопители электроэнергии. Однако индукционный накопитель со сверхпроводящими обмотками для наземного потребителя с высокой мощностью 10 ГВт должен иметь массу приблизительно 10 млн. тонн. Электромеханический накопитель снизит эту цифру «всего» до 3 млн. тонн. Если же говорить об аккумулировании всей мощности ЛСЭС (если речь идет о миллиардах киловатт), то это технически невыполнимо. Возможный вариант улучшения циклограммы ЛСЭС – постройка СБ на обратной стороне Луны. При наличии одной ФАР на «земной» стороне Луны, 2-х СБ, разнесенных на 120° на этой же стороне, причем одна из них территориально (но не конструктивно) совмещена с ФАР, и одной СБ на невидимой стороне Луны, возможно получение непрерывной 28 суточной циклограммы. Правда, общая длина линий электропередачи должна быть исключительно высокой и составлять примерно 7000 км.

Двухпозиционные ЛСЭС хотя и лишены полных «провалов», но имеют либо низкую энергосвыработку на протяжении значительной части (до 30 %) лунного 28 суточного цикла, либо 4-х суточный ночной «провал» при экваториальном размещении ЭИКов на угловом расстоянии друг от друга 120° . Создание однопозиционных ЛСЭС вполне правомерно как часть системы энергосберегающих технологий. Создание экспериментальной однопозиционной ЛСЭС является целесообразным перед разворачиванием работ по созданию полноценно функционирующей станции передачи энергии на Землю, которая в свою очередь также должна быть однопозиционной и сможет стать частью системы топливосберегающих технологий. Размещать станцию необходимо на экваторе Луны на линии Земля – Луна.

Управляемый термоядерный синтез как источник чистой энергии. Еще одним вариантом в качестве источника энергии может стать термоядерный реактор, топливом для которого станет гелий-3. Содержание гелия-3 на Луне в 10 тысяч раз выше, чем на Земле и нет рассеяния в атмосфере, гелий-3 оседает в реголите (верхнем слое лунного грунта). Возможность его извлечения и использования в качестве ядерного топлива для реакторов, в которых возможно осуществить управляемый термоядерный синтез (реакцию дейтерия с гелием-3), может рассматриваться как вторая фаза создания энергетических установок на Луне. К тому времени ЛСЭС будет вырабатывать мощность, необходимую для производства по добыче изотопа гелия-3.

На сегодняшний день инфраструктура термоядерной энергетики к потреблению и использованию ${}^3\text{He}$ не готова. Хотя управляемый термоядерный синтез в промышленных масштабах ещё не осуществлён, работы в этом направлении уже выходят в практическую плоскость. Продолжается строительство Международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР, который сможет поставлять энергию термоядерного синтеза. Используется реакция дейтерия с тритием: $\text{D} + \text{T} = \text{p} + {}^4\text{He}$ (+17,59 МэВ). Такая реакция даёт значительный выход энергии. Недостатки — высокая цена трития, выход нежелательной нейтронной радиации. Реакция дейтерия с гелием-3: $\text{D} + {}^3\text{He} = \text{p} + {}^4\text{He}$ (+18,35 МэВ) является более «чистой» (реакция проходит без выделения нежелательного нейтронного излучения), и выход энергии при такой реакции выше, но требует для зажигания плазмы в три раза более высоких температур, чем реакция дейтерия с тритием.

Реализация контролируемого ядерного синтеза в самом простом варианте $\text{D} + \text{T}$ заняла более 50 лет. Для реакции $\text{D} + {}^3\text{He}$ требуются более жесткие условия. Однако нельзя забывать, что за эти пятьдесят лет человечество научилось контролировать температуру от нескольких тысяч градусов, в середине прошлого века, до сотни миллионов градусов сегодня. Предстоит сделать ещё один шаг — увеличить контролируемую температуру ещё в три раза.

В ближайшие десятилетия лунный гелий не потребуется. В течение этого времени необходимо решить задачу промышленного освоения управляемого термоядерного синтеза с участием гелия-3. Для экспериментов, даже для создания достаточно мощного опытного термоядерного реактора, перевозить лунный гелий не потребуется. Имеются запасы изотопа ${}^3\text{He}$, накопленные в результате радиоактивного превращения трития (Т), используемого в термоядерном оружии. Поэтому у стран, располагающих термоядерным оружием, имеются в распоряжении несколько сот килограммов гелия-3.

Выводы

Предстоит проделать грандиозную работу по созданию лунной электростанции. Начать нужно с геологоразведки, которая включает: картирование лунной поверхности, выявление и оконтуривание участков с максимальным содержанием полезных компонентов, оценку удобства их эксплуатации. Работа должна сопровождаться исследованием геологического строения Луны, выявлением ресурсов для развития локального производства. В этой связи большое значение имеет ответ на вопрос о наличии там воды. В замороженном состоянии она может присутствовать в затененных кратерах на полюсах. Свидетельства тому есть. Необходима организация экспедиций и исследование образцов с соответствующих участков. Следующий шаг – проведение экспериментальных вскрышных работ и по десорбции летучих компонентов из реголита в условиях Луны. Далее – обустройство базы. Проектирование и испытание устройств, предназначенных для производства гелия-3. Чтобы обеспечить хотя бы подготовительную стадию всех работ, понадобится доставить на Луну сотни тонн машин и материалов.

Создание системы энергообеспечения Земли с помощью энергетических установок, размещаемых на поверхности Луны, требует создания мировой кооперации всех ведущих космических государств. Именно «чистая» энергия может спасти Землю от надвигающегося энергетического кризиса и предотвратить дальнейшее загрязнение окружающей среды.

Список использованной литературы

1. *Бацких Г. И.* Экспериментальная установка для формирования мощного сфокусированного потока СВЧ-излучения / Г. И. Бацких, Ю. Н. Хворостяный// Известия Академии Наук. Энергетика.– М. «Наука», 1992, №4.– С. 92-103.
2. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 38 «Оценка эффективности развития глобальной энергетики на базе использования лунных ресурсов Гелий-3». –7 с.
3. *Еськов Ю. М.* Экологически чистая мировая электроэнергетика и космонавтика в XXI веке/ Ю. М. Еськов.– Москва, 2004. – С. 57-81.
4. *O'Neill G. K.* Space colonies and Energy Supply to the Earth. –Science. 1975, vol. 190. 421. P. 943-947.