

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ

Как известно, прогресс производства материальных благ однозначно связан с успехами развития энергетической базы. К середине XXI столетия, когда численность населения земного шара, по-видимому, стабилизируется где-то на уровне 10 млрд. человек, энергетическая потребность на душу населения достигнет порядка 10^5 кВт·ч в год, а мощность мирового источника энергии – 10^{10} кВт. Сегодня мировая энергетика в основном базируется на невозобновляемых энергетических ресурсах – угле, нефти, газе, торфе, уране. Однако ясно, что существенного увеличения потребления энергии на их базе достичь не удастся как из-за ограниченности запасов, так и из-за нежелательных воздействий этих видов топлива на окружающую среду. Поэтому уже давно взоры ученых обращены на солнечную энергетику. Предлагаемые проекты касаются различных способов преобразования в космосе солнечной энергии в электрическую, доставки и распределения ее на Земле.

Эффективность устройств наземного преобразования солнечной энергии в электрическую зависит от их КПД и числа солнечных дней в году. Если 20 лет назад КПД кремниевых солнечных элементов был равен 15%, то КПД современных арсенидгаллиевых элементов с тремя переходами составляет 34%, а перспективных приборов с четырьмя переходами – 42% (теоретическое значение КПД четырехслойного элемента достигает приблизительно 50%) [1, 2]. Сегодня 1 кг солнечных батарей обеспечивают 300 Вт. Капитальные затраты на производство панелей солнечных элементов снизились по сравнению с 80-ми годами с 50 до 5 долл./Вт, а стоимость потребления энергии упала с 0,9 до 0,2 долл./кВт·ч [3].

ПРОЕКТЫ КОСМИЧЕСКИХ ГЕЛИОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Для преодоления зависимости от погодных условий еще в конце 70-х был выдвинут проект создания космической гелиоэлектростанции, размещаемой на ИСЗ, с передачей электроэнергии на Землю с помощью СВЧ-излучения к ректенне (антенна с встроенным выпрямителем) [1, 4–6]. Проект прорабатывался по всем компонентам системы, но пока оставался просто интересным предложением: хотя станция смогла бы передавать 10 ГВт, что эквивалентно выходной мощности 10 атомных электростанций, стоимость подъема компонентов на ИСЗ была бы 22 долл./г, а масса спутника – 90 тыс. т.

Г.Щелкунов

Сегодня картина изменилась. На 35-й конференции по преобразованию энергии (IECEC) в июле 2000 г. американскими специалистами были предложены серьезные разработки таких станций [1]. Новая технология, предусматривающая применение высокоэффективных солнечных элементов, высоковольтных полупроводниковых преобразователей мощности и магнетронных генераторов, способна, по мнению этих специалистов, существенно сократить массу станции. Многократно используемый транспортный самолет, разрабатываемый НАСА, снизит стоимость поднятия компонентов на низкую околоземную орбиту до 2,2 долл./г (в дальнейшем – до 88 цент/г). С помощью ионного двигателя, питаемого от солнечных



Рис.1. Передающая антенна с СВЧ-генератором

батарей, спутниковая солнечная электростанция может быть поднята с низкой околоземной орбиты на геостационарную.

Концепция интегрированного симметричного концентратора (ISC) позволит уменьшить массу системы управления и распределения мощности на спутнике, которая составляет существенную долю от массы всей станции. Отраженный от двух зеркал ISC солнечный свет концентрируется на двух решетках солнечных батарей, благодаря чему их можно располагать вблизи СВЧ-передатчиков и антенны, направленной на Землю. В результате снижается масса компонентов электростанции и средств доставки. Предполетная масса спутника с гелиоэлектростанцией – около 22 тыс. т. Для преобразования напряжения постоянного тока солнечных батарей в СВЧ-энергию выбраны усилители на магнетронах – 6-кВ магне-

Представляем автора статьи

ЩЕЛКУНОВ Геннадий Петрович. Старший научный сотрудник ФГУП "НПП Исток". Автор свыше 80 научных работ и изобретений. Разработчик и изготовитель сверхмощных источников рентгеновского излучения. Контактный тел.: 465-8872.



Рис.2. Нижняя часть дирижабля с установленной ректенной

тронный усилитель с выходной мощностью 5 кВт и КПД 85,5% на 5,8 ГГц. Легкая, недорогая, диаметром 500 м, со сроком службы 40 лет ФАР точно направляется на наземную ректенну, которая преобразует принимаемую СВЧ-мощность в постоянный ток. Предлагается ректенна с круговой поляризацией и КПД для малой мощности 57%.

Проектируемая космическая гелиоэлектростанция будет поставлять мощность 1,2 ГВт к электрической сети на Земле. Плотность СВЧ-мощности менее 300 Вт/м², что считается безопасным для живых организмов и аппаратуры.

Своеобразным фрагментом американского проекта может служить построенная в Японии в 1995 году экспериментальная система передачи электроэнергии с помощью СВЧ-колебаний с Земли

на дирижабль (рис. 1 и 2). В системе обеспечены устойчивое зависание дирижабля в определенной точке воздушного пространства (на высоте около 20 км) и лазерный мониторинг погоды (рис.3). Ректенна диаметром 30–50 м рассчитана на мощность постоянного тока 350 кВт–1 МВт. Использование подобной системы возможно и для ретрансляторных станций.

Однако решить проблему энергоснабжения всей Земли непосредственно с помощью космических гелиоэлектростанций практически невозможно. Спутников с системой ISC потребовалось бы порядка 10 тыс. В этом случае лучами СВЧ-энергии была бы опутана вся планета, а под зоны отчуждения (зоны, где пребывание людей, самолетов, кораблей и т.д. ограничено или исключено) пришлось бы занять значительную часть поверхности Земли. Допустимо иметь около 100 спутников ISC, но они смогут обеспечить не более процента потребности человечества в энергии.

Так что основная задача гелиоэлектростанций, главным образом, может быть чисто “звездной”: обеспечение энергией работ по добычанию, переработке и транспортировке на Землю ресурсов с Луны, астероидов и других планет, причем во многих случаях с помощью СВЧ-энергии [7,8]. Для подобных, “звездных”, задач может понадобиться (но уже в космосе) энергопотребление на порядок больше необходимого для землян.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРОЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Один из отечественных проектов [9] предусматривает использование токов в ионосфере Земли, рожденных и поддерживаемых за счет солнечной энергии. Ионосферный электрический ток, который

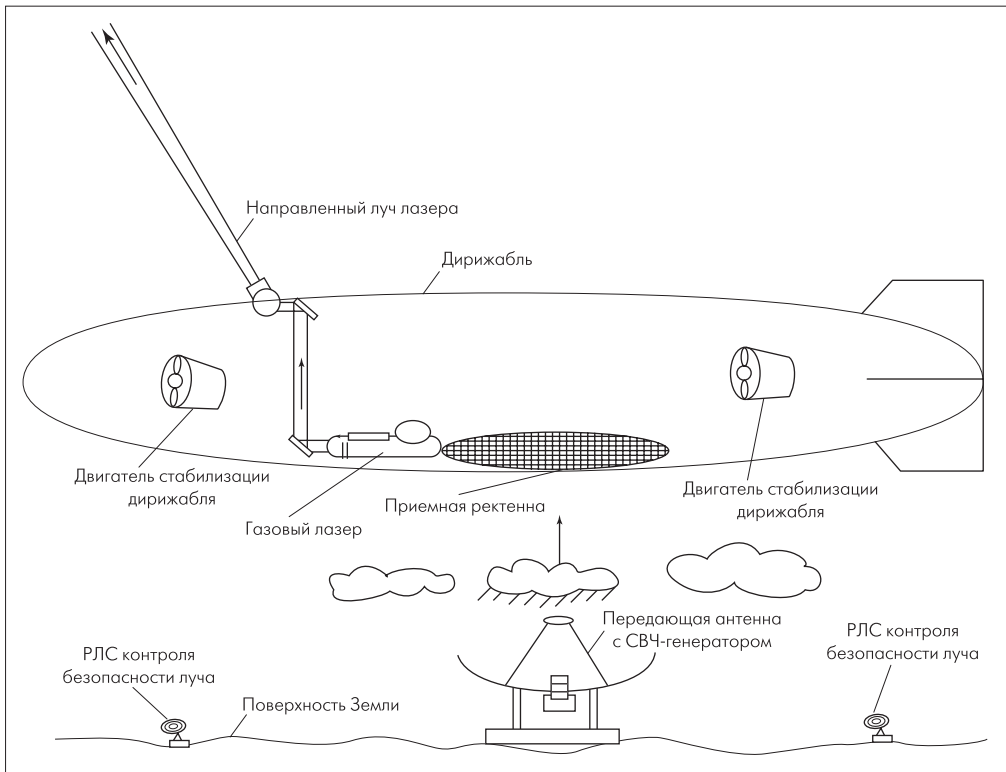


Рис.3. Система лазерного мониторинга погоды с использованием узлов, показанных на рис.1 и 2

течет вокруг Земли, обладает силой в сотни миллиардов ампер, и эти громадные запасы природной электрической энергии весьма привлекательны. Для овладения ими предлагается использовать разность потенциалов гигантского сферического конденсатора, образованного электропроводными Землей и ионосферой с разделяющим их диэлектрическим слоем воздуха. При разности потенциалов конденсатора 250 кВ и определенной степени ионизации этого слоя воздуха может произойти его пробой, и тогда образовавшийся плазменный столб электрически соединит полезную нагрузку на Земле с ионосферой. На рис.4 представлена концепция такого космического генератора: два ядерных реактора, "открытых" в сторону неба, "зажигают" два плазменных столба ионизирующим жестким гамма-излучением, а после "зажигания" к столбам через контакторы подключают полезную нагрузку. Диаметр сечения столба на Земле составит несколько метров, а в ионосфере – несколько сот километров.

Космический генератор может стать одним из перспективных возобновляемых источников энергии на Земле. Его энергоресурсы оцениваются в 10^8 МВт, что эквивалентно расходу 250 млрд. т условного топлива в год (в 2000 г. мировое потребление должно было составить около 20 млрд. т условного топлива). Однако этот проект имеет такие недостатки, как "размазанность" ионосферного тока (его концентрация выше вблизи экватора) и необходимость выделения зон отчуждения на поверхности Земли. Заметим, что зоны отчуждения у проектов [8] и [4] могут географически совпадать.

В 80-х годах в СССР развивалось новое направление в наземной транспортировке электричества – передача его с помощью электронных пучков. По вакуумированной трубе поток электронов, сфокусированный магнитным полем в узкий пучок, транспортируется на определенное расстояние, а затем тор-

музируется с помощью антиускорителя. При этом электроны возвращают энергию, затраченную на их разгон. Преимущества таких систем – большая мощность и малые потери. Нет необходимости и в средствах изоляции, борьбе с так называемыми коронными разрядами, возникающими на проводах воздушных ЛЭП высокого напряжения и вызывающими большие потери. Под руководством д-ра техн.наук Е.А.Абрамяна идея такой линии была детально проработана, и был построен ее экспериментальный участок [10]. Однако после 1991 года эта работа из-за отсутствия финансирования остановилась.

Автор данной статьи, взаимодействуя с Е.А.Абрамяном, пришел к идее более эффективной транспортировки электричества – кольцевой линии электропередачи на электронном луче (проект Щелкунова). А ознакомившись с

проектом [9], он "привязал" линию к параметрам конденсатора "ионосфера–Земля" с учетом кривизны поверхности Земли. В кольцевой глобальной линии потери могут быть обусловлены синхротронным излучением и другими факторами. Пользуясь формулой из работы [11]: $\delta E = 88,5 \cdot (E^4/R)$, где $R \approx 6 \cdot 10^6$ м (радиус Земли), E – энергия электронного потока (в ГэВ) и δE – потеря энергии E за оборот вокруг Земли (в кэВ), можно найти время "жизни" такого кольцевого потока (в условиях идеальных вакуума и фокусировки). Для напряжения 250 кВ (максимальное напряжение на сферическом конденсаторе "ионосфера–Земля") и критерия снижения E на 10% оно равно 10^{13} лет. Потерями из-за синхротронного излучения можно пренебречь, однако из-за неидеального вакуума и несовершенства поворотно-фокусирующих устройств время "жизни" электронного потока составит лишь годы.

Предлагаемая линия, обладая свойством сверхпроводимости [12], пригодна для проекта [9], без чего этот проект – просто интересная идея, и не более. Пригодна линия и для проекта [4], поскольку способна передавать электроэнергию от приемных зон на Земле к удаленным потребителям. Но даже и без использования ее в названных проектах линия важна сама по себе как крупнейшее региональное или даже глобальное "хранилище" электроэнергии (эффективнейшая система энергосбережения). На рис.5 приведена возможная география глобальной системы "съемки" ионосферного тока, его транспортировки, хранения и "раздачи" потребителям на

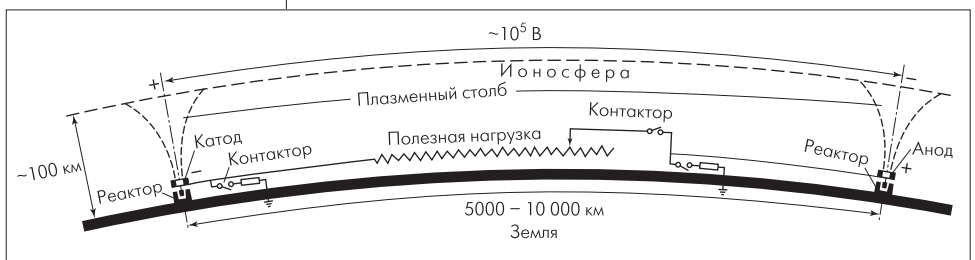


Рис.4. Концепция работы космического генератора на полезную нагрузку

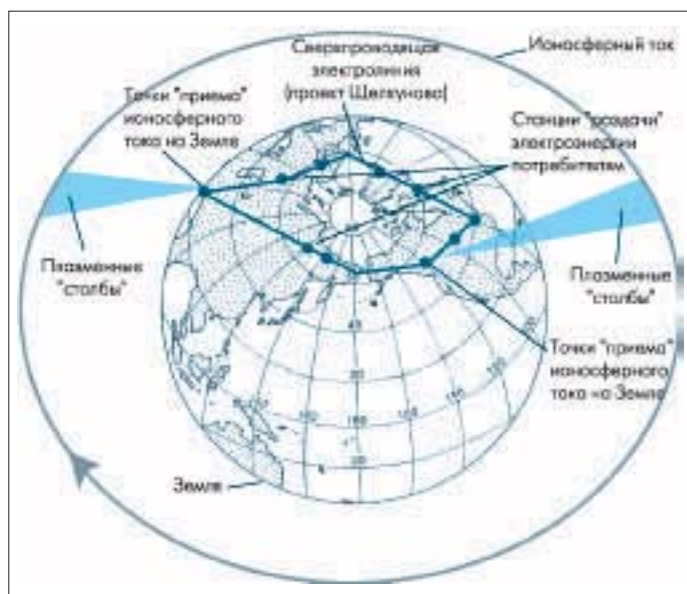


Рис.5. Возможная география глобальной системы "съем" ионосферного тока, его транспортировки, хранения и "раздачи" потребителям поверхности Земли. Для наглядности изображения плоскость ионосферного тока условно повернута так, что не совпадает с плоскостью экватора. Точки приема ионосферного тока на Земле предложено расположить в пустыне Сахара и Аппалачах (США).

В заключение можно сказать, что по существу человечество уже вступает в эпоху практического использования космической энергии и передачи ее на большие расстояния к мощным потребителям на Земле. При этом гелиоэлектростанции способны предоставить

землянам лишь один процент необходимой им энергии. Но энергопотребность в космосе будет обеспечена на порядок выше предельных значений для Земли. Проблему энергоснабжения на Земле пока способен эффективно решить лишь проект, представленный в работе [9], в сочетании с проектом Щелкунова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Henry Oman. Solar Power From Space. – IEEE AES Systems Magazine, 2001, January.
2. ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2000, №6, с.40–46.
3. Proceedings of the IEEE, 2001, vol.89, №8, p.1216–1217.
4. Peter E. Glaser, Gerald M. Hanley et al. First steps to the Solar Power Satellite. – IEEE Spectrum, 1979, May, p. 52-58.
5. William C. Brown. Solar Power Satellites: microwave deliver the power. – IEEE Spectrum, 1979, June, p. 36–42.
6. Ванке В.А., Лесков Л.В., Лукьянов А.В. Космические энергосистемы. – М.: Машиностроение, 1990.
7. Щелкунов Г.П. Радиогидравлический эффект и его возможные применения. – Личное издание, 1993 (заявка на открытие, 1982, получившее одобрение по существу при экспертизе до 1992 г.).
8. Диденко А.Н., Зверев Б.В. СВЧ-энергетика. – М.: Наука, 2000.
9. Полетавкин П.Г. Космическая энергетика. – М.: Наука, 1981.
10. Абрамян Е.А. Электричество по трубам. – Юный техник, 1984, № 1, с. 28–31.
11. Капица С.П., Луганский Л.Б., Зыкин Л.М. Проект электронного накопителя на энергию 1 ГэВ для получения магнитотормозного излучения. – Труды третьего всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. – М.: Наука, 1973, т. 1, с. 82–84.
12. Щелкунов Г.П. Свойство сверхпроводимости кольцевой линии на электронном луче (заявка на открытие, 1982, получившее одобрение по существу при экспертизе до 1992 г.).

И Лунная гелиоэлектростанция для XXI века

Технически и экономически возможна доставка на Землю по крайней мере 100 000 ГВт солнечной энергии с Луны. Эта энергия не зависит от биосферы и не вносит в нее углекислый газ и другие загрязнения. Идея проекта сводится к следующему. На противоположных сторонах Луны устанавливаются гелиоэлектростанции на солнечных элементах. Получаемая электрическая энергия преобразуется в СВЧ-энергию. На Землю передаются микроволновые лучи, которые принимают ректенны, когда Луна находится в зоне их видимости. Стоимость системы лунных электростанций, доставляющей на Землю от 10 до 100 ГВт, – до 20 млрд.долл.

Если для лунных гелиоэлектростанций использовать технологии 80-х годов, то общая эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую, передаваемую на Землю, будет низкой – порядка 0,15%. Более высокую эффективность – 35% – можно ожидать к 2020 году. Система лунных электростанций в этом случае займет только 0,15% поверхности Луны и будет поставлять на Землю 20 000 ГВт.

Никаких "магических" ресурсов или технологий для создания на Луне солнечных электростанций не потребуется. Любая горсть лунной пыли или горной породы содержит по крайней мере 20% кремния, 40% кислорода и 10% металлов (железа, алюминия и др.). Лунную пыль можно использовать непосредственно как тепловой, электрический и радиационный экраны, превратить в стекло, стекловолокно и керамику. Солнечные элементы, электрические проводники, не-

которые микросхемы и рефлекторный экран могут быть изготовлены из лунных материалов.

На Луне – идеальные условия для работы крупногабаритных солнечных преобразователей. Отсутствие воздуха или воды предотвратит деградацию тонкопленочных приборов огромной площади. Нет также сейсмической активности и биологических процессов, которые бы вызывали деградацию аппаратуры. Чувствительные схемы могут быть погружены под лунный грунт на глубину до десятков сантиметров, что позволит полностью защитить их от солнечной радиации, экстремальных температур и микрометеоритов.

Интенсивность мощности непосредственно над ректенной составляет примерно 230 Вт/м², в нескольких сотнях метров от края ректенны она будет уже равна 1% от центральной интенсивности. Ректенна по своей стоимости – основной элемент лунной системы электростанций (до 90% всех расходов). Выход коммерческой энергии она начинает обеспечивать, только когда ее диаметр достигает 0,5 км. При площади ректенны в один квадратный километр средняя годовая мощность достигает 180 МВт. Размещать ректенну можно на не используемых открытых местностях. Все страны будут иметь к ней одинаковый доступ.

Система лунных гелиоэлектростанций может конкурировать с обычными системами, если СВЧ-луч имеет интенсивность ниже допустимого уровня – от 10 Вт/м² при 1,5 ГГц и до 100 Вт/м² при 15 ГГц.

<http://mfnl.xjtu.edu.c.../>