

# Электроэнергия

## ИЗ КОСМОСА



### Достоинства солнечной космической электростанции

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Доктор физико-математических наук  
**В.А. Ванке**

СКЭС использует неистощимую энергию Солнца.

Не расходуются природные ресурсы Земли – уголь, нефть, газ. СКЭС обеспечивает минимальные тепловые потери (КПД ректенны может достигать 85–90%),

что уменьшает

«тепловое загрязнение».

Нет проблем, связанных с выбросами ( $\text{CO}_2$  или иными).

Нет проблем, связанных с радиоактивными отходами.

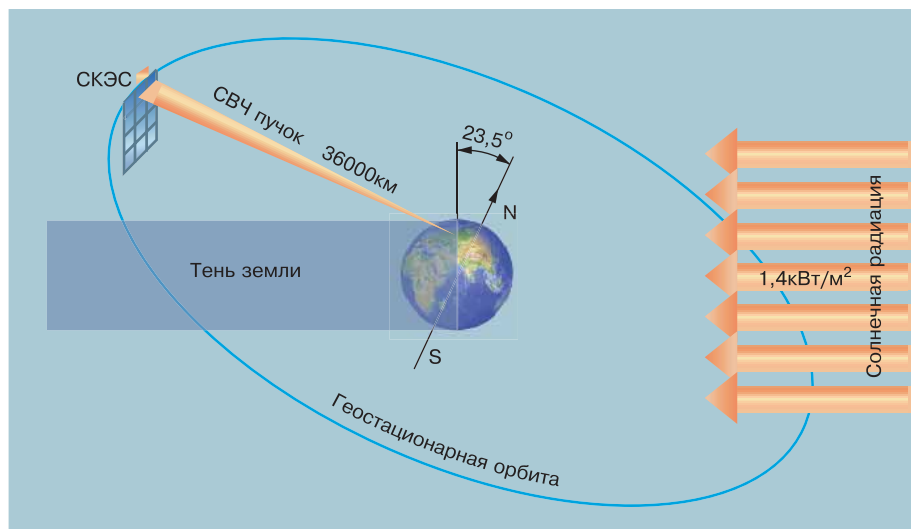
Высокая степень безопасности.

Микроволновый пучок СКЭС может легко перебрасываться

с одной приемной системы на другую, обеспечивая оперативное переключение потребителей.

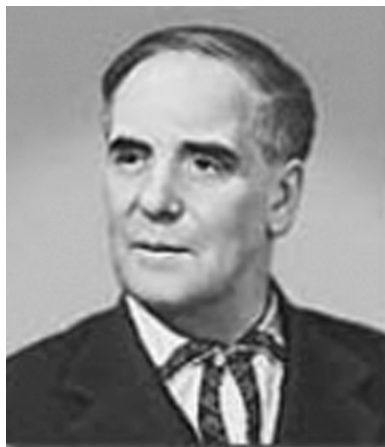
Один из крупнейших российских физиков прошлого столетия, лауреат Нобелевской премии академик Петр Леонидович Капица посвятил часть жизни исследованию перспектив использования СВЧ-колебаний и волн для создания новых и высокоэффективных систем передачи энергии. В 1962 году в предисловии к своей монографии «Электроника больших мощностей» он писал: «Электротехника, прежде чем прийти на службу энергетике, в прошлом веке занималась широко только вопросами электросвязи (телеграф, сигнализация и пр.). Вполне вероятно, что история повторится: теперь электроника используется главным образом для целей радиосвязи, но ее будущее лежит в решении крупнейших проблем энергетики».

Одновременно и независимо от Капицы известный американский специалист в области СВЧ-электроники Уильям Браун (Raytheon Co.) проводил эксперименты, направленные на создание трактов передачи



Это и есть СКЭС

энергии СВЧ-пучком. Им было впервые испытано устройство, способное принимать и преобразовывать энергию СВЧ-пучка в энергию постоянного тока. Антенная решетка состояла из полуволновых диполей, нагруженных на высокоэффективные диоды с барьером Шоттки. Она была названа ректенна (от англ. rectify – выпрямление и antenna) и позже испытывалась и совершенствовалась во многих странах мира. Уже в 1976 году Уильям Браун осуществил передачу СВЧ-пучком 30 кВт мощности на расстояние в 1 милю, и КПД ректенны в этом эксперименте превышал 80%.



П.Л. Капица

### Общая схема солнечной космической электростанции (СКЭС)

В 1968 году американский специалист в области космических исследований Питер Е. Глейзер (Peter E. Glaser) предложил размещать крупные панели солнечных батарей на геостационарной орбите, вырабатываемую ими мощность 5–10 ГВт передавать на поверхность Земли сфокусированным пучком СВЧ-излучения и преобразовывать в энергию постоянного или переменного тока. Такая схема позволяет использовать поток солнечного излучения на геостационарной орбите (около 1,4 кВт/м<sup>2</sup>), и передавать полученную энергию на поверхность Земли непрерывно, вне зависимости от времени суток и погодных условий. За счет наклона экваториальной плоскости к плоскости эклиптики 23,5° спутник, расположенный на геостационарной орбите, освещен потоком солнечной радиации почти непрерывно за исключением небольших отрезков времени вблизи дней весеннего и осеннего равноденствия, когда он попадает в тень Земли. Эти промежутки времени могут точно предсказываться, а в сумме они не превышают 1% от общей продолжительности года.



Уильям Браун

*Он же на испытаниях летающей платформы, содержащей ректенну, питаемую энергией СВЧ пучка (1962)*



Частота электромагнитных колебаний СВЧ-пучка должна попадать в диапазоны, которые выделены для использования в промышленности, научных исследованиях и медицине. Если эта частота выбрана равной 2,45 ГГц, то метеорологические условия – даже густая облачность и интенсивные осадки – практически не повлияют на КПД передачи энергии. Диапазон 5,8 ГГц заманчив, поскольку дает возможность существенно уменьшить площадь и вес передающей и приемной антенн. Однако влияние метеорологических условий здесь уже требует дополнительного изучения.

Современный уровень развития СВЧ-электроники позволяет говорить о возможности передачи энергии СВЧ-пучком с геостационарной орбиты на поверхность Земли с КПД 70–75%. При этом диаметр передающей антенны составит один кило-

метр, а наземная ректенна будет иметь размеры 10 км на 13 км для ширины местности 35°. При мощности 5 ГВт плотность излучаемой мощности в центре передающей антенны будет 23 кВт/м<sup>2</sup>, в центре приемной – 230 Вт/м<sup>2</sup>.

Были исследованы различные типы твердотельных и вакуумных СВЧ-генераторов для передающей антенны СКЭС. Уильям Браун показал, в частности, что хорошо освоенные промышленностью магнетроны, предназначенные для СВЧ-печей, могут быть использованы также и в передающих антенных решетках СКЭС. Передающая антенна СКЭС может представлять собой активную антенную решетку на основе щелевых волноводов. Ее грубая ориентация осуществляется механическим путем, для точного наведения СВЧ-пучка используется пилот-сигнал, излучаемый из центра приемной ректенны. Ректенна – высокоэффективная приемно-преобразующая система, однако низковольтность диодов и необходимость их последовательного соединения может приводить к лавинообразным пробоям. Чтобы устранить эту опасность, придется усложнить схемное решение или применить другой СВЧ-прибор (например, циклотронный преобразователь энергии с поперечной волной).



Питер Глейзер

### Немного об истории исследований

В первое же десятилетие после появления идеи СКЭС ими стали интересоваться ведущие аэрокосмические фирмы – «Boeing Aerospace Co.»,

«Grumman Aerospace Corp.», «Rockwell Inc.» и другие, исследования выполнялись за счет их внутренних средств. В 1978–1979 годах в США под руководством Министерства энергетики и НАСА была осуществлена первая государственная научно-исследовательская программа, направленная на определение перспектив СКЭС. В 1995–1997 годах НАСА вновь возвращается к обсуждению перспектив СКЭС, опираясь на прогресс технологий, достигнутый к тому времени (программа «A Fresh Look at Space Solar Power: New Architectures, Concept and Technologies»). Эти исследования были продолжены в 1999–2000 годах. (программа «SSP Strategic Research & Technology Program»). Отчеты по этим программам опубликованы.

Вероятно, самые активные и планомерные исследования в области СКЭС проводила Япония. В 1981 году под руководством М.Нагато и С.Сасаки в Институте космических исследований Японии были начаты исследования по разработке прототипа СКЭС с уровнем мощности 10 МВт, который мог быть создан с использованием существующих ракетоносителей и который позволил бы накопить технологический опыт и подготовить основу для создания коммерческих систем. Проект был назван СКЭС2000 (SPS2000), и в рамках этого проекта был создан действующий макет.

Более 25 лет собирается ежегодный всеяпонский симпозиум по космической энергетике. Большое участие в СКЭС принимают университеты городов Киото и Кобе, университет Хоккайдо и другие организации. В Киото создан Научно-исследовательский институт возобновляемой среды обитания человека, одно из направлений его работ – СКЭС.

Франция, Канада, Россия, Германия и некоторые другие страны в той или иной мере также проводили исследования в области СКЭС.

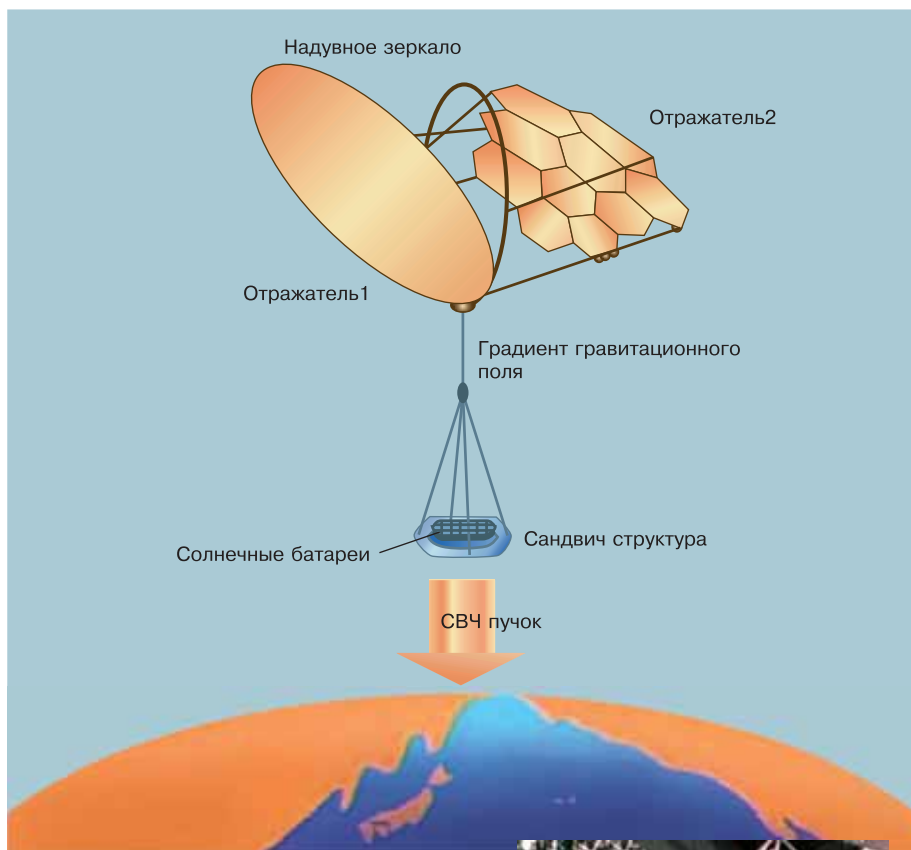
### Конструкции СКЭС

Ранние конструкции СКЭС с уровнем мощности 5 ГВт представляли собой плоскую панель солнечных батарей размером 5 км на 10 км, перпендикулярную потоку солнечной радиации. Передающая антенна диаметром 1 км была связана с основной панелью сочленением типа карданного подвеса, и ее можно было ориентировать на приемную ректенну на Земле.

В этих конструкциях использовались Si-фотобатареи или фотобатареи на



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

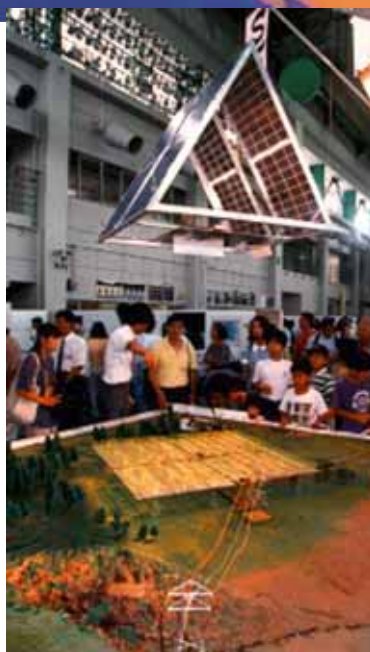


### СКЭС с сандвич-структурой

основе соединения GaAlAs с КПД порядка 12%. За прошедшие десятилетия прогресс в области фотобатарей был весьма значительным, и сегодня можно говорить о КПД порядка 30–40%, что означает существенное снижение размеров, веса и стоимости СКЭС. В этом направлении возможно еще некоторое продвижение.

Современные конструкции полномасштабных СКЭС предполагают отказ от технически сложных и недостаточно надежных вращающихся узлов. Они используют естественный градиент гравитационного поля Земли для стабилизации СКЭС в пространстве. Протяженная конструкция, длиной 15–20 км, позволяет осуществить постоянную ориентацию СВЧ-пучка вдоль направления, исходящего из центра земного шара.

Предложена «сандвич-конструкция», в которой фотобатареи и передающая антенна СКЭС объединены, а тонкопленочные надувные отражатели концентрируют солнечное излучение на фотобатареях. Как и всегда, любое новое решение одни проблемы решает, а другие создает. В данном случае возникает проблема отвода тепла из внутренних частей сандвич-системы, тем более для диапазона 5,8 ГГц с уменьшен-



*Действующий макет SPS2000 в выставочном зале Института космических исследований Японии*

ным диаметром антенны и соответственно более высокой плотностью мощности СВЧ-пучка.

### О пользе научно-технического сотрудничества

Человечество накопило определенный опыт международного сотруд-

ничества в области управляемого термоядерного синтеза (ITER), создания и использования международной космической станции (ISS), разработки и создания пускового ракетного комплекса «морской старт» (Sea Launch). Международное сотрудничество могло бы оказаться весьма перспективным для разработки и создания экспериментального прототипа СКЭС с уровнем мощности 5–10 МВт. Эти работы, вероятно, займут 10–20 лет и могут быть основаны на использовании существующих или частично модернизированных ракетно-транспортных систем.

Полномасштабные коммерческие СКЭС (5–10 ГВт) будут созданы, скорее всего, не ранее чем через 30–50 лет и потребуют транспортных средств нового поколения с меньшей стоимостью доставки грузов на орбиту. Такие транспортные средства неизбежно появятся в связи с общими тенденциями промышленного освоения космического пространства. Целенаправленные работы по линии СКЭС могут ускорить этот процесс.

#### Что еще можно почитать о солнечных космических электростанциях

**Капица П.Л.** Электроника больших мощностей. М: Изд. АН СССР, 1962.

**Гриликес В.А.** Солнечные космические электростанции. Л.: Наука, 1986.

**Ванке В.А.** Поперечные волны электронного потока в микроволновой электронике. Успехи физических наук, 2005, т. 175, № 9.

