

БЕСПРОВОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ОСНОВА СОЗДАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Владимир Николаевич ГРИДИН родился в 1944 г. в городе Москве. Директор Центра информационных технологий в проектировании РАН. Доктор технических наук, профессор. Основные научные интересы — в области системного анализа технических систем и инфотелекоммуникационных технологий. Автор более 190 научных работ. E-mail: info@ditc.ras

Vladimir N. GRIDIN, D.Sci., was born in 1944, in Moscow. He is the Director of the Design Informational Technology Center. His research interests are in system analysis of engineering systems as well as in information and telecommunication technologies. He has published over 190 technical papers. E-mail: info@ditc.ras

Леонид Александрович КВАСНИКОВ родился в 1924 г. в городе Томске. Профессор МАИ. Доктор технических наук, профессор. Основные научные интересы — в области авиационных двигателей и космической энергетики. Автор более 250 научных работ. E-mail: k208@mai.ru

Leonid A. KVASNIKOV, D.Sci., was born in 1924, in Tomsk. He is a Professor at the MAI. His research interests are in aviation engines and space power engineering. He has published over 250 technical papers. E-mail: k208@mai.ru

Владимир Леонидович САВВИН родился в 1943 г. в городе Москве. Доцент Московского государственного университета им. Ломоносова. Кандидат физико-математических наук, доцент. Основные научные интересы — в области микроволновой электроники и космической энергетики. Автор более 100 научных работ. E-mail: vladimir.savvin@mail.ru.

Vladimir L. SAVVIN, Ph.D., was born in 1943, in Moscow. He is an Associate Professor at the Lomonosov Moscow State University. His research interests are in microwave electronics and in space power engineering. He has published over 100 technical papers. E-mail: vladimir.savvin@mail.ru

Андрей Петрович СМАХТИН родился в 1947 г. в городе Москве. Старший преподаватель МАИ. Основные научные интересы — в области беспроводной наземной и космической энергетики. Автор более 100 научных работ. E-mail: k208@mai.ru

Andrey P. SMAKHTIN, was born in 1947, in Moscow. He is a Senior Assistant Professor at the MAI. His research interests are in terrestrial and space wireless power engineering. He has published over 100 technical papers. E-mail: k208@mai.ru

Ростислав Константинович ЧУЯН родился в 1932 г. в городе Ленинграде. Профессор МАИ. Доктор технических наук, профессор. Основные научные интересы — в области электроракетных двигателей и космической энергетики. Автор более 200 научных работ. E-mail: k208@mai.ru

Rostislav K. CHUYAN, D.Sci., was born in 1932, in Leningrad. He is a Professor at the MAI. His research interests are in electrojet engines and in space power engineering. He has published over 200 scientific papers. E-mail: k208@mai.ru

Как известно, Европейский Союз признал, наряду с проблемами воды, здоровья, сельского хозяйства и биоразнообразия, энергетическую проблему одной из пяти жизненно важных мировых проблем. С учетом того, что одним из звеньев процесса получения и использования электрической энергии является передача энергии от производителя к потребителю, новый способ передачи энергии с помощью сфокусированных пучков электромагнитного излучения СВЧ или оптического диапазонов, весьма перспективен для решения некоторых известных и принципиально новых технических задач.

It is well known that the European Union accepts energy problem as one of the five vital world problems together with water, public health, agriculture, and biological diversity problems. Process of power transmission from an energy generator to an energy consumer is one of important links included into full power engineering process. A new power transmission method is discussed. It is based on focused microwave and optical electromagnetic radiation beams. This method is capable potentially to solve some traditional and essentially new engineering problems.

Ключевые слова: СВЧ и монохроматическое оптическое излучение, сфокусированные пучки электромагнитного излучения, беспроводная передача энергии.

Key words: microwave and monochromatic optical radiation, focused beams of electromagnetic radiation, wireless power transmission.

Список обозначений

τ — безразмерный параметр, характеризующий рабочие параметры приемно-передающей системы;
 η — эффективность приемно-передающего тракта, %;
 D_i — диаметр апертуры излучающей антенны, м;
 D_r — диаметр апертуры приемной антенн, м;
 λ — длина волны излучения, м;
 L — расстояние между излучающей и приемной антеннами, м.

Введение

Одной из ключевых проблем, от решения которых зависит развитие и, пожалуй, само существование человечества, является проблема обеспечения потребностей человечества в энергии. Непрерывный рост объемов потребляемой энергии при быстром истощении запасов традиционных энергоносителей с учетом жестких экологических ограничений остро ставит вопрос о включении в мировой энергооборот новых нетрадиционных энергетических технологий. Глобальный характер проблем современной мировой энергетики требует новых, нетрадиционных подходов к их решению.

Одним из важнейших компонентов энергетического цикла является транспортировка энергии, и в первую очередь электрической энергии, от мест ее производства к местам потребления, которые, как правило, не совпадают. Традиционные методы транспортировки электроэнергии предполагают использование сложных и разветвленных высоковольтных линий передач. Развитие такой сети требует больших капитальных вложений. Известно, что 1 км высоковольтных линий передач стоит порядка 1 млн долл. США. Кроме того, в ряде случаев использование стационарных сетей затруднено, а иногда и просто невозможно в силу физических условий. Кроме того, создание стационарных сетей транспортировки энергии и энергоносителей в ряде случаев ограничено территориальными и политическими соображениями, что, как показала практика последних лет, может приводить к серьезным затруднениям в реализации существующих соглашений в области энергетики. Поэтому в последние годы все большее внимание привлекают нетрадиционные методы передачи энергии с помо-

щью сфокусированных электромагнитных пучков, получившие название беспроводной передачи энергии.

Системы беспроводной передачи энергии представляют собой естественное развитие идей, лежащих в основе инфотелекоммуникационных систем связи, но отличаются от последних, в основном, уровнем мощности передаваемого сигнала. При этом коэффициент полезного действия передачи энергии без учета потерь энергии в окружающей среде может быть близким к 100%. Первые идеи в этой области были сформулированы еще в известных работах К.Э. Циолковского и П.Л. Капицы [1, 2]. В 1968 году П. Глезер [3] предложил первый инженерный проект энергоснабжения Земли с помощью расположенных на геостационарных орбитах мощных солнечных электростанций, передающих энергию на Землю с помощью СВЧ-излучения. За последние десятилетия в России, США, Франции, Японии и других странах показана возможность применения беспроводной передачи энергии для решения различных задач.

Принята совместная программа Mitsubishi Electric Corporation и IHI Corporation по разработке в ближайшие 30 лет орбитальных солнечных электростанций для энергоснабжения потребителей энергии в Японии по сфокусированному СВЧ-лучу. Стоимость программы 21 млрд долл. США [4].

Ведущий американский экономический журнал Wall Street Journal отметил, что солнечные орбитальные электростанции для наземного энергоснабжения могут кардинально изменить мир наряду с развитием электромобилей на основе перспективных схем аккумуляторов, с разработкой новых схем накопителей энергии, новых технологий снижения выброса в атмосферу углекислого газа и новых технологий получения биотоплива [5].

Беспроводная энергетика не отрицает традиционные схемы энергоснабжения, а занимает вполне определенное место в общей структуре энергетики будущего.

Анализ современного состояния систем беспроводной энергетики

Разработка и создание систем с беспроводной передачей энергии предполагает решение не только задач собственно передачи энергии, но и задач генерации энергии, ее использования, а также утили-

лизации энергетических отходов. Концепция беспроводной энергетики комплексно решает эти проблемы, так как современные источники и приемники электромагнитного излучения обладают весьма высоким коэффициентом полезного действия, достигающим 90%.

Известно, что дифракционные потери минимальны при гауссовом распределении мощности на апертуре излучающей антенны и соответствующих размерах излучающей и приемной антенн (рис. 1) [6].

При этом эффективность приемно-передающего тракта η при передаче энергии в вакууме может быть представлена выражением (рис. 2) [7]

$$\eta = 1 - \exp(-\tau^2),$$

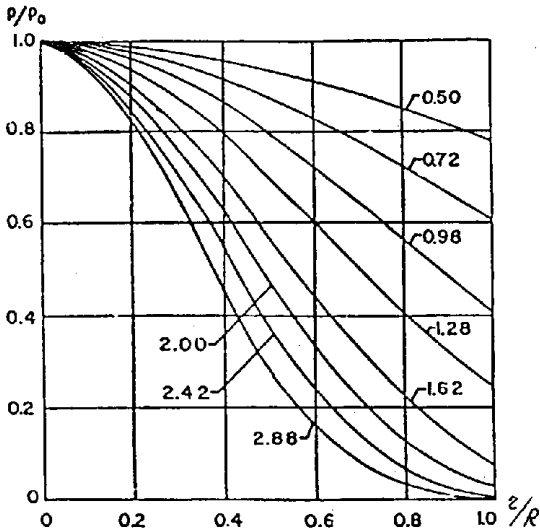


Рис. 1. Распределение плотности электромагнитной энергии на апертурах передающей и приемной антенн в зависимости от безразмерного радиуса r/R (R — радиус апертуры)

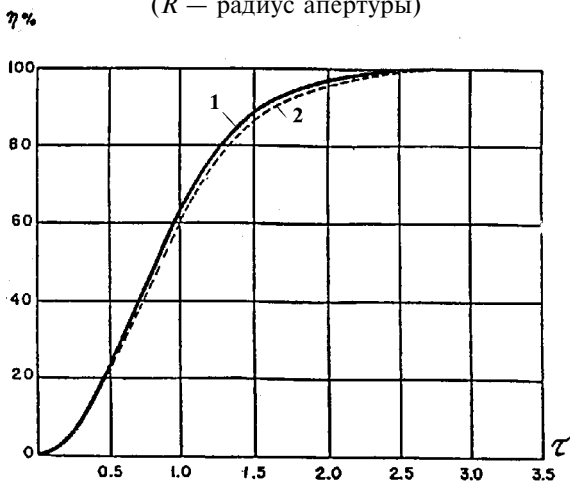


Рис. 2. Зависимость эффективности беспроводной передачи энергии в вакууме η от параметра τ :

1 — круглые апертуры; 2 — квадратные апертуры

где для круглых апертур

$$\tau = \pi D_t D_r / 4\lambda L.$$

При величине параметра τ более 2,7 эффективность приемно-передающей системы в вакууме близка 100%, так как при этом практически вся излучаемая мощность сфокусирована в главном луче излучающей антенны и реализуется полный перехват приемной антенной излучаемой мощности. В случае передачи энергии в атмосфере Земли необходимо учитывать потери электромагнитной энергии на поглощение, рассеяние и изменение плоскости поляризации волны в магнитном поле Земли.

Выбор между СВЧ и лазерным излучением зависит от дистанции, на которую передается энергия, и от величины потерь в среде распространения энергии. При относительно малых расстояниях целесообразно использовать СВЧ-излучение с длинами волн порядка 1 см. Однако уже при расстоянии передачи энергии порядка 1 км произведение площадей передатчика и приемника излучения оказывается порядка 300 м². Вместе с тем важным достоинством излучения в СВЧ-диапазоне является слабое поглощение излучения в атмосфере Земли на частотах сигнала 2,5 ГГц и менее даже в условиях атмосферных осадков. СВЧ-излучение в диапазоне частот 37—39 ГГц соответствует первому «радиоокну» в атмосфере Земли, и использование этих частот весьма перспективно в сравнении с диапазоном 2,5 ГГц, так как при этом возможно уменьшение площади орбитального излучателя более чем на два порядка. Очевидно, что этот тип излучения предпочтительней для передачи энергии в атмосфере Земли.

При передаче энергии на большие расстояния в космосе требуется лазерное излучение с длиной волны 1,06 мкм при использовании в качестве приемников фотоэлектрических преобразователей на основе кремния или с длиной волны 0,8 мкм при использовании приемников на основе арсенида галлия. При использовании монохроматического излучения эффективность фотоэлектрических преобразователей повышается до величины порядка 50—60%. Существенное уменьшение размеров приемно-передающих устройств имеет огромное значение в космической технике.

Потенциал беспроводной энергетики

Можно выделить области, где беспроводная энергетика имеет преимущества по сравнению с традиционными методами энергоснабжения как по эффективности, так и с точки зрения экологических ограничений.

1. Передача энергии из космоса на Землю

В этом случае значительно повышается эффективность использования солнечной энергии на Земле. Преобразователи солнечной энергии с относительно низкой эффективностью размещаются вне биосферы Земли, и тем самым существенно снижается тепловая нагрузка на биосферу. При этом надо иметь в виду, что передача электромагнитной энергии сквозь атмосферу Земли и преобразование СВЧ-излучения в электрическую энергию на поверхности Земли имеют эффективность порядка 85—90%. Размещение солнечных орбитальных электростанций на геостационарной орбите позволяет организовать круглосуточное энергоснабжение наземных потребителей.

Ключевой проблемой данного проекта является проблема экологической безопасности ионосферы Земли и биологических объектов на Земле.

При использовании ядерных источников энергии в космосе при беспроводной передаче энергии с одного космического аппарата на другой существенно возрастает радиационная безопасность космического аппарата приемника энергии и в значительной степени упрощается проблема захоронения ядерных отходов.

2. Энергоснабжение лунных и марсианских станций

Подобная схема энергоснабжения на основе солнечных или ядерных источников энергии может быть использована для энергоснабжения лунных и марсианских станций.

3. Передача энергии с Земли в космос

Энергоснабжения космических аппаратов в околоземном пространстве от наземных источников энергии позволит существенно увеличить их энерговооруженность и эффективность при одновременном снижении массы бортовой энергетической установки.

4. Передача энергии между космическими объектами

При этом может быть реализована схема централизованного энергоснабжения как отдельных космических аппаратов, так и группировок космических аппаратов [8]. В этом случае могут быть расширены функциональные возможности космических аппаратов за счет обеспечения более значительной степени неравномерности циклограммы потребления энергии. Кроме того, увеличивается ресурс космических аппаратов за счет парирования процессов деградации первичных источников энергии. Уменьшение площадей солнечных батарей

позволит увеличить маневренность космических аппаратов.

Концепция беспроводной передачи энергии в космосе позволит решить принципиально новую задачу организации технологических и исследовательских процессов в условиях предельно низкого уровня остаточных ускорений на борту космических аппаратов за счет разнесения в пространстве источника и потребителя энергии [9].

5. Передача энергии между наземными объектами

Передача энергии между удаленными объектами на поверхности Земли может быть реализована с помощью пассивных орбитальных ретрансляторов энергии. Это позволит осуществить надежное энергоснабжение труднодоступных районов и районов стихийных бедствий при проведении спасательных работ.

Наряду с проблемой обеспечения высокого КПД и сравнительно малой стоимости систем беспроводной передачи энергии, на первый план выходит задача обеспечения экологической безопасности и снижения уровня фонового микроволнового излучения за пределами приемной антенны. Проект первой наземной беспроводной линии передачи на острове Реюньон (Франция) предназначен для условий гористой местности, где монтаж обычных силовых кабелей затруднен из-за сложности рельефа и высокой стоимости работ. Оптимизация распределения поля излучения на передающей антенне позволит реализовать безопасный уровень фонового излучения как за пределами приемной антенны, так и в ее центре при КПД передачи энергии более 86% [10].

С использованием беспроводной передачи энергии может быть решена проблема снижения суточных пиков энергопотребления за счет переброски энергии с запада на восток, а также существенно расширяются возможности коммерческой продажи энергии за рубеж. Сохранение лидирующего положения России в области энергетики предполагает не только использование богатых запасов углеводородных топлив, но и эффективное преобразование возможных источников в электроэнергию с широкими возможностями ее независимой транспортировки по беспроводным каналам. Необходимо отметить, что продажа конечного продукта — электрической энергии существенно выгоднее продажи сырья — углеводородных топлив, что также говорит в пользу развития систем беспроводной энергетики.

Беспроводная энергетика должна быть важным элементом единой энергетической системы будущего, объединяющей комплекс наземных и космичес-

ких источников энергии, традиционных и беспроводных линий ее передачи, потребителей энергии и систем экологически безопасной утилизации энергетических отходов. Современное развитие наземных и космических технологий позволяет прогнозировать создание такой системы уже во второй половине XXI века.

Выводы

В заключение необходимо сказать, что беспроводная энергетика в некоторых случаях, связанных с решением задач по передаче энергии на большие расстояния или в условиях, невозможных для использования традиционных высоковольтных линий передачи, может быть значительно более эффективным и экологически более безопасным вариантом энергоснабжения различных потребителей. Современный уровень развития техники генерации электромагнитного излучения различных частотных диапазонов, фокусировки и транспортировки электромагнитного излучения позволяет прогнозировать относительно короткое время реализации пилотных проектов. На современном этапе исследования проблем беспроводной энергетике наиболее сложными и ключевыми для широкого применения концепции беспроводной энергетике являются экологическая проблема и вопросы совместимости таких систем с существующей инженерной инфраструктурой.

Библиографический список

1. Циолковский К.Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами. — М.: Машиностроение, 1967.
2. Капица П.Л. Электроника больших мощностей. — М.: Изд-во АН СССР, 1962.

3. Глезер П. Перспективы космических солнечных электростанций // Ракетная техника и космонавтика. 1979. Т. 7. № 1. С. 176—190.

4. Sato S., Okada Y. IHI to Join \$ 21 bln. Space Solar Project // Blomberg, September 3, 2009.

5. Totty M. Five Technologies that Could Change Everything // Wall Street Journal, October 19, 2009, P. R4

6. Goubou G. Microwave Power Transmission from an Orbiting Solar Power Station // The Journal of Microwave Power, Vol. 5, No. 4, Dec. 1970, P. 223 — 231.

7. Little F., H. Brandhorst H. An Approach for Lunar Power — 24/29 // Proceedings of «The 4th International Conference on Solar Power from Space — SPS'04» together with «The 5th International Conference on Wireless Power Transmission — WPT5», 30 June — 2 July 2004, Granada, Spain, P. 165 — 171.

8. Bourgasov M.P., Tchuyan R.K., Tolyarenko N.V. Alternative Solution of Power Supply for New Spacecraft Generation // Acta Astronautica, Vol. 38, Nos. 4 -8, 1996, P. 217 — 221.

9. Pignolet G., Kaya N., Sasaki S., Vassaux D., Celeste A., Little F., Smakhtin A., Tchuyan R., Zemskov V., Savvin V. R./ Potential for WPT Free-Flyer Experiment and Utilization // Proceedings of 50th International Astronautical Congress, IAF-99-R.2.02, Amsterdam, The Netherlands, 1999.

10. Казарян Г.М., Рудаков А.В., Саввин В.Л. Радиофизические и экологические аспекты наземной микроволновой линии передачи энергии // Вестник МГУ. Сер. Физика, Астрономия. 2005. № 5. С. 23—26.

Московский авиационный институт
Статья поступила в редакцию 20.10.2009