**Передача лазерной энергии на космические расстояния**

Сейчас лазеры получили широкое применение в науке, технике, быту. Возникла новая область физики - **нелинейная оптика**, в которой изучается взаимодействие мощного лазерного излучения с различными веществами. За счет высокой при лазерном излучении напряженности электрического поля, превышающей напряженность внутриатомных электрических полей, происходят изменения в электронной оболочке атомов и возникает ряд новых явлений. Некоторые из них кратко перечислены ниже.

Лазерный луч может проникать через вещества, непрозрачные для обычного света. При этом возможно явление **самофокусировки**. Иногда наблюдается увеличение частоты лазерного излучения в два-три раза, если оно проходит через некоторые вещества, например, инфракрасное излучение становится зеленым, частота которого в два раза выше. Такое явление называют **генерацией гармоник** (второй, третьей и т.д.). Оно объясняется тем, что при взаимодействии лазерного излучения с атомами вещества возможно объединение двух, трех и более квантов в один. При удвоении частоты КПД достигает 100%. Возможен и обратный процесс: деление кванта на два новых, причем сумма энергий и сумма частот полученных двух квантов равна энергии и частоте исходного кванта. Обе новые частоты можно изменять, но сумма их остается постоянной. Лазерное излучение способно управлять движением атомов. Взаимодействие лазерного излучения с атомами вещества вызывает появление в спектре этого вещества новых линий, по которым можно судить о некоторых, ранее неизвестных свойствах вещества (нелинейная лазерная спектроскопия).

Важная область применения лазерного излучения - связь. Для лазерной связи характерна высокая направленность и огромный диапазон частот, позволяющий разместить практически неограниченное число передач различных видов информации. Посредством лазерного луча можно передавать одновременно десятки тысяч телевизионных программ или десятки миллионов телефонных переговоров. Конечно, для наземной связи лазерным лучом создаются помехи в виде различных капельных образований в атмосфере (дождь, туман, снег). Например, в густом тумане связь возможна лишь на сотни метров. Таких препятствий нет в космосе, где возможна связь на огромные расстояния. На земле лазерная связь без помех осуществляется по световодам. Они представляют собой кабели из специального стекла или прозрачной пластмассы. Эти вещества обладают высокой прозрачностью и вызывают очень малое затухание лазерного луча. Световоды ценны тем, что позволяют экономить цветные металлы, из которых делаются обычные кабели, и имеют массу во много раз меньше, чем у металлических кабелей.

Кроме устройств связи лазерное излучение используется в локаторах, которые имеют более высокую точность, нежели радиолокаторы. Лазерные лучи применяются для точных геодезических измерений, для сварки и резки различных материалов, в том числе сверхтвердых. Возможно пробивание лазерным лучом отверстий. Все эти операции производятся с высокой точностью. Поэтому лазерная обработка материалов успешно применяется в технологии изготовления микросхем. Лазерное излучение может также оказывать существенное влияние на химические реакции.

На использовании лазерного излучения основана **голография** - область науки и техники, занимающаяся получением объемных изображений, а также оптической обработкой информации и её хранением. Методы голографии позволяют хранить гигантские объемы информации на небольших носителях. Лазерные методы используются также для высококачественной звукозаписи и видеозаписи.

Исключительно важно применение лазерного излучения в медицине и биологии. С помощью лазерного луча делаются сложные глазные операции. Излучение мощного лазера используется в хирургии в качестве скальпеля. Здесь важна абсолютная стерильность лазерного луча и его способность прижигать разрезы мелких кровеносных сосудов, чтобы остановить кровотечение.

Взаимодействие лазерного излучения с клетками живых организмов внимательно изучают ученые разных стран. Сверхкороткие импульсы лазерного излучения дают возможность исследовать различные процессы очень малой длительности в клетках. Например, можно изучать процесс фотосинтеза в растениях, т.е. преобразование солнечной энергии в химическую, процесс зрительного восприятия у человека, детали строения и функционирования молекул ДНК (которая, как известно, недавно была полностью расшифрована), обуславливающих явления наследственности. Области применения лазерного излучения непрерывно расширяются.

Еще с середины прошлого столетия ученые всего мира занимаются изучением возможности передачи электрической энергии при помощи различного лазерного излучения без проводов (так называемая Беспроводная Передача Электрической Энергии - БПЭЭ). Сегодня слово «беспроводное» - едва ли не главный символ прогресса в электронике. Но если задача бесконтактной передачи информации в основном решена, то с передачей энергии все оказалось не так просто. А между тем, избавившись от электрических проводов, можно поставлять на Землю из космоса экологически чистую энергию Солнца и экономить миллионы тонн меди на линиях электропередачи. Причем передача эта должна осуществляться достаточно эффективно, чтобы энергию имело смысл использовать в повседневных целях. Человечество уже сотню лет успешно передает электроэнергию на расстояние при помощи радиоволн. Передатчик их излучает, приемник снова переводит в электричество, и мы слушаем, к примеру, джаз. Но, к сожалению, КПД этой передачи ничтожно мал. Принятой по радио энергии не хватает даже для работы наушников, из-за чего нам приходится регулярно менять батарейки в приемниках. Энергия радиоволн способна донести информацию с границ Солнечной системы, от летящего там зонда «Вояджер», но ей не под силу зажечь даже обыкновенную лампочку.

Космические электростанции.

Вопрос энергетической безопасности человечества стоит довольно остро. Запасы угля, нефти и даже урана с торием сокращаются. Перспективы термоядерной энергетики пока туманны. Между тем есть прекрасный и совершенно бесплатный термоядерный реактор, рассеивающий энергию направо и налево, - Солнце, и гелиоэнергетика развивается очень бурно. Однако на Земле, где бы ни построить солнечную электростанцию, есть как минимум одна проблема - ночь, а еще облака, пыль и прочие неудобства.

Напрашивается логичный вывод - следует перенести электростанции в космос, где Солнце светит круглые сутки. Например, «подвесить» их на геостационарную орбиту. Первым идею солнечной космической электростанции (СКЭС), поставляющей энергию на Землю, высказал в 1968 году американский ученый чешского происхождения Питер Глейзер, создатель лунного отражателя-дальномера, оставленного на нашем естественном спутнике экспедицией «Аполлон-11». Опубликовав идею в журнале Science, он, как истинный американец, запатентовал свою концепцию. В те годы казалось, что воплощение этой идеи - дело ближайшего будущего. Но срок действия патента давно истек, а престарелый Глейзер только сейчас стал получать обнадеживающие сообщения о возможной реализации своей идеи.

На бумаге перспектива выглядит радужной. Но возьмем публикацию 30-летней давности - обзор В.А. Банке, B.M. Лопухина и В.Л. Саввина «Проблемы солнечных космических электростанций», вышедший в журнале «Успехи физических наук» в 1977 году. О советских проектах в нем не упоминается, обсуждаются американские и японские: «…предполагаемый срок реализации - 90-е годы текущего столетия (эксперименты в космосе к 1985 году, прототип СКЭС к 1992 году, коммерческие экземпляры в 1997 году)». Выходит, ожидаемые сроки внедрения за три десятилетия так и не изменились и по-прежнему убегают за двадцатилетний горизонт. В космической энергетике, как и в термоядерной, научные и инженерные проблемы оказались более серьезными, чем представлялось первоначально. И самый сложный вопрос - доставка энергии на Землю. И именно в контексте проектирования космических электростанций были впервые глубоко изучены проблемы беспроводной передачи энергии при помощи электромагнитных волн. Потери при этом происходят трижды: при переводе электричества в излучение, при прохождении излучения через атмосферу Земли и при обратном преобразовании его в электричество. Для большинства видов электромагнитных волн земная атмосфера непрозрачна, поэтому широкого выбора у физиков не было. Направленная передача больших потоков энергии на большие расстояния возможна при помощи лазерного луча или пучка радиоволн сверхвысокой частоты (СВЧ).

Сейчас земными учеными БПЭЭ с использованием лазеров развивается в двух направлениях - передачи типа «Космос-Земля» и «Космос-Космос». Как нетрудно догадаться, передачи первого типа имеют цель высокотехнологичной, высокоэффективной передачи электроэнергии лазерным излучением с космической электростанции на Землю, второго типа - передачи электроэнергии от КЭС к другому Космическому Аппарату (КА). И если передачи типа Космос-космос в настоящее время более-менее успешно развиваются, то проблемы в передаче (и эффективной передаче) энергии между Космосом и Землей на данный момент тяжело решаемы. Несмотря на низкую расходимость лазерного излучения, приемник на Земле должен иметь минимум 40 метров в диаметре при наилучших возможных параметрах. Впрочем, это значение лучше, чем при использовании СВЧ-излучения - альтернативного варианта БПЭЭ - при котором приемник должен иметь в диаметре около 10 километров. К тому же, при передаче лазерного излучения типа Космос-Земля потери будут происходить не только во время преобразования электрической энергии в лазерный пучок и наоборот, но и при прохождении земной атмосферы. К тому же, поскольку пучок будет крайне большой мощности (в теории - несколько ГВт), он будет представлять опасность для всех, кто случайно окажется на его пути, будь то животное или самолет. Более подробно это будет описано в дальнейшем.

Краткая история и состояние исследований в настоящее время

Первые идеи об использовании беспроводной передачи энергии в космическом пространстве высказывались в начале ХХ столетия К.Ю. Кондратюком (передача солнечного излучения зеркалами с орбиты на Землю [1]) и К.Э. Циолковским (подвод энергии к космическому летательному аппарату сфокусированным электромагнитным излучением). В 1948 г. Г.И. Бабат обосновал способ передачи энергии на борт летательных аппаратов с помощью сфокусированного пучка СВЧ излучения.

Новый импульс проблема использования сфокусированных пучков электромагнитного излучения для решения различных энергетических задач как в космосе, так и на Земле получила в конце 1960-х гг. после опубликования Питером Глэйзером работы с описанием проекта сооружения космической электростанции.

Возможность использования беспроводной передачи энергии для энергоснабжения свободно летающих спутников с борта орбитальной станции рассматривалась в NASA, в начале 1970-х гг., когда обсуждались планы создания орбитальной станции [6-8]. Позднее к этой концепции возвратились в 90-е годы в связи с проектом международной космической станции (МКС). Эта идея прорабатывалась в ESA [9] и NASA [10]. В марте 1999 г. в CNES (Франция) была проведена Международная стратегическая обзорная встреча специалистов Канады, США, Франции, Японии по ключевым проблемам космической солнечной энергии и ее беспроводной передаче [11]. В настоящее время уровень понимания обсуждаемой проблемы в целом и технический уровень разработок отдельных подсистем достаточно высоки для практической реализации проектов систем БПЭЭ в ближайшем будущем при относительно небольших финансовых затратах.

Интерес к проектам беспроводной передачи энергии достаточно высок, о чем свидетельствуют энергетическая Программа ЮНЕСКО на 1996-2005 гг., программы неправительственной образовательной организации под эгидой ООН SUNSAT Counsel, космических агентств США, Франции и Японии.

Перспектива использования беспроводной энергетики в космосе заключается, прежде всего, в возможности передачи энергии от одного космического аппарата к другому или к группировке космических аппаратов. Значительным преимуществом данного варианта является экологическая безопасность использования беспроводной передачи энергии - отсутствие проблемы обеспечения безопасного взаимодействия электромагнитного излучения с биосферой и атмосферой Земли, включая ее ионосферу.

Использование беспроводной передачи энергии позволяет обеспечить централизованное энергоснабжение в космосе, основанное на использовании одной или нескольких мощных энергетических станций для более эффективного и гибкого энергоснабжения космических аппаратов в сравнении с существующими автономными бортовыми энергетическими установками. При этом может быть увеличена энерговооруженность космического аппарата, обеспечена стабильность уровня энергопотребления, а также возможность глубокого регулирования циклограммы энергопотребления при существенном снижении габаритов и массы космического аппарата.

В Японии разрабатывается проект комбинированной передачи энергии с геостационарной орбиты на поверхность Земли с использованием отражателя солнечного света с ГСО на низкую орбиту, где в качестве приемника солнечной энергии располагается так называемый «сэндвич», т.е. совмещенные солнечные батареи и полупроводниковые СВЧ преобразователи энергии с частотой 2,45 ГГц. За счет такой схемы решается проблема транспортировки энергии с ГСО на Землю при относительно небольшой расходимости СВЧ луча. Также в Японии разработан проект SPS 2000, в рамках которого предполагается запуск на круговую орбиту в экваториальной плоскости Земли на высоту 1100 км космической электростанции мощностью 0,7 МВт. Планируется нарастить мощность экспериментальной солнечной орбитальной электростанции за 16 запусков до величины 10 МВт [12].

Динамика исследований в США в области создания солнечных орбитальных электростанций с 1970 гг. по настоящее время отражена в Report to the Director, National Security Space Office Interim Assessment (10 October 2007). К настоящему времени известно достаточно ограниченное количество экспериментальных работ в области беспроводной энергетики, причем в основном в области СВЧ энергетики.

Известные эксперименты по передаче энергии с помощью сфокусированного лазерного излучения в основном носят лабораторный характер и отличаются небольшой передаваемой мощностью (в пределах десятков Вт) и относительно небольшим расстоянием передачи энергии (от десятков до сотен метров).

Наибольший интерес представляет инициатива компании Astrium по разработке геостационарной космической электростанции, в рамках которой планируется проведение эксперимента по передаче электроэнергии на наземный приемник по лазерному каналу с геостационарного КА, оснащенного солнечными батареями мощностью около 15 кВт. До настоящего времени исследовательская группа Astrium проводила демонстрационные эксперименты с лазером Nd: YaG оптической мощностью около 5 Вт по передаче энергии на расстояние до нескольких десятков метров на подвижную мишень (модель ровера).

Исследователи НАСА работали в 1980-х годах с возможностью использования лазеров для излучения энергии между двумя точками в пространстве. В перспективе эта технология станет альтернативным способом передачи энергии в космической энергетике. В 1991 году начался проект SELENE, который предполагал создание лазеров для космической энергетики, в том числе и для излучения энергии лазером на лунные базы. В 1988 Грант Логан предложили использовать лазер размещенный на Земле, чтобы обеспечить энергией космические станции, предположительно это можно было осуществить в 1989. Предлагалось использование солнечных элементов из алмаза при температуре 300 °C для преобразования ультрафиолетового лазерного излучения. Проект SELENE продолжал работать над этой концепцией, пока не был официально закрыт в 1993 после двух лет исследований, так и не осуществив тестирования технологии на большие расстояния. Причина закрытия: высокая стоимость осуществления.

Космос-Космос.

Космическая гелиоэнергетика в своем развитии прошла ряд проектных этапов, в рамках которых были оптимизированы ее параметры: мощность, эффективность, конструкторские решения, стоимость, сроки реализации, и в результате была создана концепция «Солнечной Космической Электростанции» (СКЭС). В рамках этой конструкции спутник (массой 30 000 т) с солнечными батареями площадью 50 км2 предполагалось размещать на геостационарной орбите и с помощью передающей антенны диаметром 1000 м должен был передавать на Землю 5 ГВт электроэнергии на приемную наземную антенну (ректенну) диаметром 13 км.

Однако детальный анализ данного базового проекта показал невозможность решения всех технических, экологических и экономических проблем по созданию СКЭС, и поэтому все работы по СКЭС, начиная с 1984 года, были свернуты. Но, тем не менее, значительный прогресс в развитии новых технологий в области солнечных батарей, электроники, композитных материалов, космических систем в 90-х годах возродил интерес к этой энергетической системе. И, в первую очередь, в области обеспечения энергопитания космических систем. Разработка и внедрение этой технологией применительно к потребностям космической деятельности связана с тенденцией увеличения уровней энергопотребления создаваемых космических аппаратов (КА) и сроков их активного существования.

Система дистанционного энергоснабжения является эффективной альтернативой автономным бортовым энергоустановкам, так как позволит улучшить массогабаритные характеристики КА, уменьшить размеры спутников, снизить частоту коррекции орбиты. Появление технологии микроспутников, требующей для своего выполнения значительного энергопотребления, а также появление новой технологии астрофизических обсерваторий, базирующихся на двух отдельных информационно-связанных спутниках, таких как интерферометры LISA, рентгеновский телескоп XEUS, требующих большого фокального расстояния (более 50 метров) [5]. В этих проектах один из спутников может выступать в роли электростанции, другой - в виде потребителя энергии. Помимо обеспечения дистанционного передачи энергии для обеспечения энергопотребления такого спутника требуется информационно-измерительная связь этих двух спутников.

Эффективность канала дистанционной передачи энергии в космосе определяется в первую очередь компонентами, из которых состоит эта система, во вторую очередь - управлением системы в целом. Оценка эффективности лазерного канала передачи энергии производилась по принципу «от розетки до розетки». Ее основные компоненты:

преобразователь напряжения, его эффективность в лучшем случае лежит в пределах (0,8-8,85);

лазерная система, лучшие достижения до 0,6 (практически реализуемое в пределах 0,4-0,6);

оптический тракт (зеркальная система) (0,85-0,9); - фотоприемные модули в пределах (0,4-0,6);

преобразователь тока (0,8-0,85).

И таким образом эффективность канала передачи энергии может лежать в пределах 0,1-0,3, что делает его вполне приемлемым для практического использования, хотя естественно КПД хотелось бы повыше.

Несмотря на все проблемы, связанные с работой СКЭС и гелиоэнергетикой вообще, современные ученые не теряют надежды и продолжают искать множество путей решения. Уже сейчас анонсируются проекты как российских, так и зарубежных (США, Япония) ученых о создании в ближайшем будущем работоспособных СКЭС, поскольку с развитием науки стоимость их снижается и появляются все новые и новые способы уменьшить вес выводимого на орбиту аппарата. Например, еще в 1993 году весь мир поразил летящий по небу солнечный отражатель. Эта площадка в 300 квадратных метров, толщиной 2 миллиметра весила всего 4 килограмма. Она сохраняла свою форму не за счет каркаса, а центробежных сил. Отражатель был отправлен в космос в капсуле, а выйдя на орбиту, развернулся. Солнечные батареи, также к примеру можно сделать очень тонкими, толщиной около 12 микрон. Из них на Земле можно собрать КСЭС большой площади, всю эту конструкцию сложить и поместить в капсулу, а уже на орбите станцию развернуть веером. Этим путем собираются идти российские ученые, в чем можно пожелать им скорейших успехов.

лазерный излучение голография космический