

"Radio" is monthly publication on audio, video, computers, home electronics and telecommunication

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ: ЗАО «ЖУРНАЛ «РАДИО»

Зарегистрирован Министерством печати и информации РФ 01 июля 1992 г.

Регистрационный ПИ № ФС77-50754

Главный редактор В. К. ЧУДНОВ

Редакционная коллегия:

А. В. ГОЛЫШКО, А. С. ЖУРАВЛЁВ, А. Н. КОРОТОНОШКО,

К. В. МУСАТОВ, И. А. НЕЧАЕВ (зам. гл. редактора),

Л. В. МИХАЛЕВСКИЙ, С. Л. МИШЕНКОВ, О. А. РАЗИН

Выпускающие редакторы: С. Н. ГЛИБИН

Обложка: В. М. МУСИЯКА

Вёрстка: Е. А. ГЕРАСИМОВА

Корректор: Т. А. ВАСИЛЬЕВА

Адрес редакции: 107045, Москва, Селивёрстов пер., 10, стр. 1

Тел.: (495) 607-31-18. Факс: (495) 608-77-13

E-mail: ref@radio.ru

Группа работы с письмами — (495) 607-08-48

Отдел рекламы — (495) 607-31-18; e-mail: advert@radio.ru

Распространение — (495) 607-77-28; e-mail: sale@radio.ru

Подписка и продажа — (495) 607-77-28

Бухгалтерия — (495) 607-87-39

Наши платёжные реквизиты:
получатель — ЗАО "Журнал "Радио", ИНН 7708023424,
р/сч. 40702810438090103159

Банк получателя — ПАО Сбербанк г. Москва
корр. счёт 3010181040000000225 БИК 044525225

Подписано к печати 25.09.2020 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.

Объём 8 физ. печ. л., 4 бум. л., 10,5 уч.-изд. л.

В розницу — цена договорная.

Подписной индекс:

Официальный каталог ПОЧТА РОССИИ — П4014;

КАТАЛОГ РОССИЙСКОЙ ПРЕССЫ — 89032.

За содержание рекламного объявления ответственность несёт
рекламодатель.

За оригинальность и содержание статьи ответственность несёт автор.

Редакция не несёт ответственности за возможные негативные последствия
использования опубликованных материалов, но принимает меры по ис-
ключению ошибок и опечаток.

В случае приёма рукописи к публикации редакция ставит об этом в изве-
стность автора. При этом редакция получает исключительное право на рас-
пространение принятого произведения, включая его публикации в журнале
«Радио», на интернет-страницах журнала, CD или иным образом.

Авторское вознаграждение (гонорар) выплачивается в течение двух
месяцев после первой публикации в размере, определяемом внутренним
справочником тарифов.

По истечении одного года с момента первой публикации автор имеет
право опубликовать авторский вариант своего произведения в другом мес-
те без предварительного письменного согласия редакции.

В переписку редакция не вступает. Рукописи не рецензируются и не воз-
вращаются.

© Радио®, 1924—2020. Воспроизведение материалов журнала «Радио»,
их коммерческое использование в любом виде, полностью или частично,
допускается только с письменного разрешения редакции.

Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика офсетной печати»

142100, Моск. обл., г. Подольск, Революционный проспект, д. 80/42.

Зак. 02687-20.



Компьютерная сеть редакции
журнала «Радио» находится под
защитой Dr.Web — антивирусных
продуктов российского разработ-
чика средств информационной
безопасности — компании
«Доктор Веб».

www.drweb.com

Бесплатный номер
службы поддержки
в России:

8-800-333-79-32

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — КОМПАНИЯ «РИНЕТ»



Internet Service Provider

Телефон: (495) 981-4571

Факс: (495) 783-9181

E-mail: info@rinet.ru

Сайт: <http://www.rinet.net>

Беспроводное электричество

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

"Наш мир погружён в огромный океан энергии, мы летим в бесконечном пространстве с непостижимой скоростью. Всё вокруг вращается, движется — всё энергия. Перед нами грандиозная задача — найти способы добычи этой энергии. Тогда, извлекая её из этого неисчерпаемого источника, человечество будет продвигаться вперёд гигантскими шагами."

(Никола Тесла)

Доставка энергии в любую точку в любом количестве — давняя мечта человечества с момента начала собственно технической цивилизации. Нетрудно представить, насколько бы подешевела электроэнергия без затрат на токопроводящую продукцию. Вязанки дров, мешки с углём, цистерны с горючим, электрические кабели и провода — тяжкий груз на плечах разработчиков новой техники.

В 1820 г. великий французский физик А. М. Ампер открыл закон взаимодействия токов, когда по двум близко расположенным проводникам ток течёт в одном направлении, проводники притягиваются друг к другу, а если в разных, то отталкиваются. Через 10 лет Майкл Фарадей открыл закон индукции, который стал базой для развития такой науки, как электромагнетизм. В 1864 г. Дж. К. Максвелл описал с помощью уравнений, как связаны электрический ток и электромагнитное поле, а в 1888 г. Генрих Герц подтвердил существование электромагнитных волн. В ходе экспериментов учёным удалось передать энергию на три метра, получив искры в приёмнике.

В 1891 г. Никола Тесла понял, что нужно настраивать установку на определённые частоты и напряжения. При частоте 15...20 кГц и напряжении передатчика 20 кВ удалось получить наилучшие результаты. Тесла также впервые понял, что использование электромагнитных систем в принципе не позволит передать большое количество электроэнергии. На Всемирной выставке в 1893 г., состоявшейся в Чикаго, Тесла продемонстрировал свечение фосфорных лампочек без проводов. Свой вклад в развитие беспроводной передачи энергии сделал русский учёный Александр Попов. В 1895 г. на заседании Русского физико-химического общества он показал изобретённый им детекторный радиоприёмник.

Ещё в 1904 г. на выставке St. Louis World's Fair был вручён приз за успешный запуск самолётного двигателя мощностью 0,1 лошадиной силы, осуществлённый на расстоянии 30 м.

Собственно, вплоть до наших дней происходило патентование новых изобретений в области беспроводной передачи электрической энергии. Были произведены множество экспериментов, совершено большое число открытий. Перечень гуря электричества отнюдь не исчерпывается приведёнными выше: Вильям Стерджен, Николас Дж. Каллан, Малон Лумис и многие другие. К примеру, мало кто знает, что японский исследователь Hidetsugu Yagi для передачи энергии использовал антенну собственной разработки. В феврале 1926 г. он опубликовал результаты своих исследований, в которых описал конструкцию и способ настройки антенны Yagi.

В 1903 г. на острове Лонг-Айленд близ Нью-Йорка Николой Тесла для научных исследований была построена башня Wardencllyffe. Она состояла из трансформатора с

заземлённой вторичной обмоткой, а на её вершине стоял медный сферический купол. На расстоянии 40 км башня зажгла 200 50-ваттных ламп. В те дни газета "Нью-Йорк сан" писала: "Слои атмосферы воспламенились на разной высоте и на большой территории так, что ночь моментально превратилась в день. Весь воздух был наполнен свечением".

Как отмечал в своих статьях Тесла (Тесла Н. Мои изобретения. — URL: <https://library.raikevich.com/tesla/01.htm> (26.08.20)), специально рассчитанный резонансный преобразователь, который должен был войти в резонанс с земным шаром, благодаря своим электрическим постоянным (константам) и свойствам, а также конструкции становится чрезвычайно эффективным в беспроводной передаче энергии. Расстояние в этом случае абсолютно не играет роли, поскольку "напряжённость передаваемых импульсов не уменьшается". Согласно точному математическому расчёту возможно даже увеличение напряжённости магнитного поля по мере удаления от установки. Впрочем, передача электроэнергии была лишь одним из назначений башни Wardenclyffe, поскольку одной из главных целей изобретателя была беспроводная связь.

Непосредственные цели предприятия были изложены в специальном отчёте: "Всемирная система" возникла из комбинации нескольких первоначальных открытий, сделанных в ходе долгих и непрерывных исследований и опытов. Это делает возможным не только немедленную и точную беспроводную передачу любого рода сигналов, сообщений или образов во все части света, а также объединение всех существующих телеграфных, телефонных и других станций без какого-либо изменения в их нынешнем оборудовании. С её помощью, например, телефонный абонент в каком-либо месте может позвонить и поговорить с любым абонентом на земном шаре. Недорогая телефонная трубка, по величине не больше наручных часов, даст ему возможность слушать повсюду, на суше и на море, речь или музыку, произносимую или исполняемую в каком-либо другом месте, как бы далеко это ни было. Эти примеры приводятся только для того, чтобы дать представление о возможностях данного замечательного научного достижения. Оно упраздняет категорию расстояния, и земля, превосходящий естественный проводник, сможет заменить все бесчисленные, изобретённые ранее человечеством устройства, основу которых составляла проводная связь. Одно далеко идущее следствие этого проекта состоит в том, что любое устройство, управляемое посредством одного или нескольких проводов (очевидно, на ограниченном расстоянии), может с такой же лёгкостью и точностью приводиться в действие без проводов, причём на таких расстояниях, для которых не существует других ограничений, кроме тех, что налагают физические размеры земного шара. Таким образом, благодаря этому идеальному методу передачи энергии открываются не только

совершенно новые области для коммерческой эксплуатации, но будут в значительной степени расширены старые".

Как видим, у Николы Тесла беспроводная передача электроэнергии была неотъемлемой частью телекоммуникаций, а если точнее, это была единая услуга — "связь", причём вместе с соответствующим питанием для оборудования. Желаящие могут увидеть здесь зачатки и мобильной связи, и Интернета.

Башня высотой около 50 м (под ней ещё была глубокая шахта) строилась при финансовой поддержке известного банкира Дж. П. Моргана. Башня предназначалась не только для трансляции радиоволн, но и для беспроводной передачи электричества. Как только Морган это понял, он отказался от финансирования. Ведь это изобретение могло обрушить рынок энергетики. Кто будет покупать то, что можно получать практически бесплатно? Будучи совладельцем первой в мире Ниагарской ГЭС и крупных медеплавильных заводов, Дж. П. Морган никак не мог допустить разрушения уже сложившегося бизнеса. Башня Wardenclyffe несколько лет стояла заброшенной, а в 1917 г. её взорвали под весьма странным предлогом — якобы её могли использовать немецкие шпионы. Ведь шла Первая мировая война.

В общем, в те дни новая технология так и не смогла пробиться на рынок, поскольку инвесторы думали только о своей выгоде, и для идеи беспроводной электроэнергетики настали годы забвения. Дж. П. Морган убил инновационную идею одним вопросом: "Где я могу поставить счётчик?".

В наши дни, почти через 120 лет после экспериментов на Wardenclyffe, новозеландская компания Emrod, похоже, наконец-то убедила крупного дистрибьютора электроэнергии в необходимости перехода на беспроводную передачу электроэнергии в коммерческих целях. Бесплатного электричества не будет, поскольку всех потребителей оснастят специальными счётчиками. Однако это в любом случае прорыв, позволяющий создать первую коммерческую сеть беспроводной доставки электричества в мире. Инвестором проекта стала крупная новозеландская компания Powerco. Исследователи уверяют, что созданная ими технология не только позволит убрать провода, но и повысит эффективность доставки электричества. Сейчас этот показатель равен 70 %, но может достичь 100 %. Кроме того, доставка будет осуществляться в отдалённые районы или туда, куда наземные линии провести невозможно или слишком дорого. Сигнал полностью безопасен для человека и работает в диапазоне радиочастотного спектра, который часто применяют для передачи Wi-Fi и Bluetooth. В качестве дополнительной защиты используется лазерная завеса. Так, если в диапазон попадёт движущийся объект — птица, дрон или вертолёт, передача будет полностью отключаться. Передачу энергии можно осуществлять в любую погоду. По мнению представителей Emrod, у новой

технологии отличные перспективы. Например, можно отдавать излишки солнечной энергии заинтересованным потребителям или экономить на построении инфраструктуры. Кроме того, отпадает необходимость размещения огромных аккумуляторов. Немаловажно и то, что при необходимости можно перенаправить мощности. Это позволит увеличить поток на перегруженных направлениях и снизить там, где потребность в электричестве падает. Emrod размышляет о возможности запуска на городских улицах специальных автомобилей, способных быстро доставить необходимое количество энергии туда, куда надо. Конкретные сроки начала коммерческого использования пока не озвучены.

На октябрь 2020 г. запланированы лабораторные испытания оборудования Emrod. Одновременно с этим должно быть готово второе устройство для тестирования. Пока удалось передать всего несколько киловатт на расстояние 40 м, но инженеры уверены, что способны увеличить мощность в сто раз. Также они заявляют, что единственным ограничением расстояния передачи может быть только прямая видимость между объектами. Прототип построен на основе передающей антенны и приёмной т. н. ректенне. Каждый из этих компонентов выглядит просто как большие квадратные щиты на столбах. Ректенна (от англ. rectifying antenna, иначе — антенна со встроеным выпрямителем) — это нелинейная антенна, предназначенная для преобразования энергии поля падающей на неё электромагнитной волны в энергию постоянного тока. Для читателей журнала не является секретом, что простейшим вариантом такой конструкции может быть полуволновый вибратор, между плечами которого установлено устройство с односторонней проводимостью (например, диод). В таком варианте конструкции антенна совмещается с детектором, на выходе которого при наличии падающей волны появляется ЭДС. В целях повышения усиления такие устройства могут быть объединены в многоэлементные решётки. Ректенны могут применяться в качестве приёмников в каналах передачи энергии на большие расстояния, что особенно важно при транспортировке энергии от создаваемых солнечных электростанций с орбиты на Землю, и наоборот, от Земли на космический аппарат, например, на космический лифт.

Собственно, проект Emrod не является чем-то уникальным, если не рассматривать попытку коммерциализации беспроводной передачи электроэнергии. Собственно, способов передачи электроэнергии без проводов известно достаточно много, и основная проблема у них — дальность действия.

Наиболее известным беспроводным способом передачи электроэнергии является метод электромагнитной индукции, о чём даёт представление работа обыкновенного трансформатора. Примерами использования эффекта электромагнитной индукции могут быть беспроводные зарядные устройства смартфонов и электрические зубных



щёток. Недостатком такого способа передачи энергии является обязательное близкое расположение катушек. Даже при небольшом увеличении промежутка между обмотками большая часть энергии начинает рассеиваться в пространстве.

Инженерам Корейского института перспективных научных исследований и технологии (KAIST) удалось разработать индуктивную систему беспроводной зарядки, которая позволяет заряжать батарею устройств потребительской электроники, находящихся на расстоянии до 5 м. Здесь применяется новый механизм под названием резонансная система с дипольной катушкой (DCRS), которая расширяет максимальный диапазон передачи энергии. По сообщению ресурса Wired, в ходе демонстрации от системы DCRS черпали энергию 40 смартфонов одновременно, причём даже тогда, когда источник питания находился в нескольких метрах.

Новая система беспроводной зарядки является эволюционным развитием созданной исследователями Массачусетского технологического института (MIT) связанной магнитно-резонансной системы (CMRS). На момент разработки в 2007 г. система CMRS, используя магнитное поле, могла передавать энергию на расстоянии 2,1 м, однако она имела ряд недостатков, среди которых сложная конструкция, высокая рабочая частота и высокая чувствительность к внешней среде (температура и влажность). В то время концепт получил название WITricity (сокращение от "беспроводное электричество"), но имеющиеся недостатки стали серьёзными препятствиями на пути к дальнейшей коммерциализации разработки. В системах этого типа применяется пара электромагнитных резонаторов с катушками, формирующих магнитные поля. Технология DCRS заключается в использовании компактных ферритовых стержней с обмоткой посередине вместо больших петлеобразных воздушных катушек, используемых в системе CMRS. Принцип работы тот же — переменный ток высокой частоты в первичной обмотке генерирует магнитное поле, которое, в свою очередь, индуцирует напряжение на вторичной обмотке.

Компания Intel продемонстрировала свою технологию передачи энергии WREL с КПД до 75 %. В 2009 г. фирма Sony продемонстрировала работу телевизора без сетевого подключения. В 2010 г. Haier Group на выставке CES представила полностью беспроводной LCD-телевизор. Настораживает только одно обстоятельство — независимо от способа передачи и технических ухищрений плотность энергии и напряжённость поля в помещениях должна быть достаточно высокой, чтобы питать устройство мощностью несколько десятков ватт. По признанию самих разработчиков, информации о биологическом воздействии на человека подобных систем пока нет.

В 2012—2015 гг. инженеры Вашингтонского университета разработали технологию PoWiFi (от Power Over Wi-Fi), позволяющую использовать радиоинтерфейс Wi-Fi в качестве источника

энергии для питания портативных устройств и зарядки гаджетов.

В 2011 г. студентами Университета Пенсильвании (США) был продемонстрирован способ передачи электроэнергии с помощью ультразвука. Передатчик генерировал акустические волны в ультразвуковом диапазоне, приёмник преобразовывал их в электрический ток. В качестве носителя энергии ультразвук был выбран не случайно. Его воздействие на организм человека абсолютно безвредно. Несвершенство этого способа заключается в том, что КПД передачи мал, нужна прямая видимость между аппаратами и небольшое расстояние (7...10 м).

В основе метода электростатической индукции лежит принцип прохождения электромагнитной энергии через диэлектрические материалы. Иначе это называется ёмкостной связью. Генератор создаёт в своеобразном конденсаторе электрическое поле, которое возбуждает разницу потенциалов между двумя электродами потребителя. Кстати, Никола Тесла для демонстрации беспроводной лампы для освещения использовал именно метод электростатической индукции. Лампа получала питание от переменного электрического поля высокой частоты. Она светилась ровно, независимо от её перемещения в пространстве комнаты.

В 1964 г. эксперт в области СВЧ-электроники Вильям С. Браун впервые испытал устройство, встроенное в модель вертолёта, способное принимать и преобразовывать энергию пучка СВЧ-волн в постоянный ток. Это благодаря антенной решётке, состоящей из полуволновых диполей, каждый из которых нагружен на высокоэффективный диод Шоттки. В 1976 г. В. С. Брауну удалось передать СВЧ-пучком мощность 30 кВт на расстояние в 1 милю (1,6 км). КПД ректенны в этом эксперименте был чуть больше 80 %, что всё же ниже КПД действующих ЛЭП.

В 1968 г. американский специалист в области космических исследований Питер Е. Глэйзер предложил размещать крупные панели солнечных батарей на геостационарной орбите, а вырабатываемую ими энергию (5...10 ГВт) передавать на поверхность Земли хорошо сфокусированным пучком СВЧ-излучения, преобразовывать её затем в энергию постоянного или переменного тока технической частоты и раздавать потребителям. Такая схема позволяла использовать интенсивный поток солнечного излучения, существующий на геостационарной орбите (~1,4 кВт/м²), и передавать полученную энергию на поверхность Земли непрерывно, вне зависимости от времени суток и погодных условий. За счёт естественного наклона экваториальной плоскости к плоскости эклиптики с углом 23,5 град. спутник, расположенный на геостационарной орбите, освещён потоком солнечной радиации практически непрерывно, за исключением небольших отрезков времени вблизи дней весеннего и осеннего равноденствия, когда этот спутник попадает в тень Земли. Эти промежутки времени могут точно предсказываться, а в сумме они не превы-

шают 1 % от общей продолжительности года. Проблема данного метода состоит в том, что для приёма и передачи пучкового излучения требуются очень большие антенны. Учёные НАСА в 1978 г. пришли к выводу, что для передачи микроволнового луча частотой 2,45 ГГц (в этом диапазоне потери в атмосфере минимальны) излучающая антенна должна иметь диаметр отражающей поверхности 1 км. Приёмная ректенна должна быть диаметром 10 км. Уменьшить эти размеры возможно путём использования сверхкоротких волн. Однако сигналы такого диапазона быстро поглощаются атмосферой или блокируются атмосферными осадками.

Передачу электроэнергии на большие расстояния без проводов с помощью лазера стали осуществлять совсем недавно. Идея состоит в том, что лазерный луч, несущий в себе энергию, попадает на фотоземлет приёмного устройства, где высокочастотное электромагнитное излучение преобразуется в электрический ток. Лазерная технология передачи энергии, ранее применявшаяся в военной области, успешно внедряется в гражданскую сферу деятельности человека. Разработки американских учёных привели к изобретению беспилотного летательного аппарата, получающего энергетическое питание от лазерного луча. В 2006 г. был продемонстрирован беспилотник, который мог летать в беспосадочном режиме, питаясь от лазерной установки. В 2009 г. был успешно осуществлён эксперимент в космосе по передаче энергии на один километр мощностью 500 Вт.

Существует также теория, предлагающая использование недр и океанов Земли для беспроводной передачи энергии. Электропроводимость гидросферы, залежей металлических руд может быть использована для передачи низкочастотного переменного тока. Электростатическая индукция диэлектрических тел может возникнуть в огромных залежах кварцевого песка и подобных ему минералов. Никола Тесла в своё время выдвинул предположение, что в будущем появятся технологии, которые для передачи электроэнергии будут использовать землю, океанические воды и атмосферу планеты. В последнее время растёт интерес к разработке подобных технологий.

В авиации началось серийное производство летательных беспилотных аппаратов, питающихся за счёт беспроводной передачи электричества. Небольшой вертолёт с ректенной может подниматься на высоту до 15 м над землёй.

Сегодня ведутся исследовательские работы и разрабатываются проекты создания электромобилей, которые будут передвигаться по дорожному покрытию с токопроводом, который индуцирует электрический ток в двигателе транспортного средства. Ряд компаний заняты разработкой беспроводных источников питания, которые смогут снабжать электроэнергией все потребители в пределах одного помещения. В перспективе появление трасс, состоящих из ряда беспроводных источников электричества, которые

смогут обеспечить перемещение летательных аппаратов на большие расстояния. С появлением новых материалов, усовершенствованных приборов и изобретений беспроводная передача электроэнергии в недалёком будущем охватит все сферы деятельности человека.

Исследованию перспектив использования СВЧ-волн для создания новых и высокоэффективных систем передачи энергии посвятил немало времени один из крупнейших советских физиков лауреат Нобелевской премии академик Пётр Леонидович Капица. В 1962 г. в предисловии к своей монографии он писал: "... я хочу напомнить, что 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 её будущее лежит в решении крупнейших проблем энергетики".

8 октября 1975 г. на научной сессии, посвящённой 250-летию Академии наук СССР, П. Капица сделал концептуаль-

ный доклад, в котором, исходя из базовых физических принципов, по существу, похоронил все виды альтернативной энергии, за исключением управляемого термоядерного синтеза. Его соображения сводились к следующему. Какой бы источник энергии ни рассматривать, его можно охарактеризовать двумя параметрами: плотностью энергии, т. е. её количеством в единице объёма, и скоростью её передачи (распространения). Производство этих величин есть максимальная мощность, которую можно получить с единицы поверхности, используя энергию данного вида. Вот, скажем, солнечная энергия. Её плотность относительно невелика. Зато она распространяется с огромной скоростью — скоростью света. В результате поток солнечной энергии, приходящий на Землю и дающий жизнь всему, оканчивается совсем не мал — больше киловатта на квадратный метр. Увы, хотя этот поток достаточен для жизни на планете, но как основной источник энергии для человечества крайне неэффективен. Как отмечал П. Капица, на уровне моря, с учётом потерь в атмосфере, реально человек может использовать поток в 100—200 Вт/м². Как пра-

вило, КПД устройств, преобразующих солнечную энергию в электричество, составляет 15 %. Чтобы покрыть только бытовые потребности одного современного домохозяйства, нужен преобразователь площадью не менее 40...50 м². А для того, чтобы заменить солнечной энергией источники ископаемого топлива, нужно построить вдоль всей сухопутной части экватора сплошную полосу солнечных батарей шириной 50...60 км. Совершенно очевидно, что подобный проект в обозримом будущем не может быть реализован ни по техническим, ни по финансовым, ни по политическим причинам.

Впрочем, это было давно. А сегодня пожелаем успехов проекту Emrod и всем другим разработчикам беспроводного электричества, которое действительно нужно. И поразмышлять о словах Никола Тесла про окружающий нас океан энергии тоже было бы весьма полезно. А вдруг?...

По материалам habr.com,
newatlas.com, 4pda.ru, amperof.ru,
kartaslov.ru, unworld.ru, aif.ru,
library.raikevich.c, econet.ru, Wired