

История открытия радио

В. МЕРКУЛОВ, г. Москва

"Мы сделали открытие, все значение которого сейчас едва ли кто сразу поймет".

А. С. Попов, 1895 г.

16 (4) марта 2009 г. исполняется 150 лет со дня рождения Александра Степановича Попова — первооткрывателя радио. В публикуемой статье рассказано о непосредственной предыстории и воплощении физического феномена, названного "радио" в XX веке. Многие ученые были на самом пороге открытия, но приоритет все же признавали за нашим соотечественником.

"Абстрактные" творения будущего

Быстрые и невидимые электромагнитные колебания (ЭМК) исследовали многие физики в европейских странах и США еще до того, как английский ученый-теоретик физики Дж. Максвелл (1831—1879) опубликовал свои знаменитые работы "Динамическая теория электромагнитного поля" (1864 г.) и "Трактат об электричестве и магнетизме" (1873 г.). Как, например, американский физик Дж. Генри (1817—1878) в изданной в 1842 г. работе "Колебательный разряд" [1, с. 243—245] показал существование в лейденской банке "главного разряда в одном направлении, а затем несколько отраженных действий назад и вперед, каждое из которых является более слабым, чем предыдущее, продолжаясь до тех пор, пока не наступит равновесие"; что "разряд лейденской батареи через проводник создает в соседнем параллельном проводнике индуцированный ток". Кроме того, искра "длиной около одного дюйма (25,4 мм), проскакивающая на конец проволочного контура, находящегося в верхнем помещении здания, создавала индукцию достаточно мощную для того, чтобы намагничивать иглы, помещенные в параллельной проволочной цепи, расположенной внизу здания, в погребе, причем расстояние (по перпендикуляру) между верхней и нижней цепями равнялось 30 футам (9,14 м) и они разделялись двумя полами и потолками".

Ведущий немецкий физик и физиолог Г. фон Гельмгольц (1821—1894) в 1847 г. в статье "О сохранении силы" [1, с. 246] тоже объяснял, что "разрядный ток состоит из чередующихся, противоположно направленных токов". В 1858 г. австрийский профессор физики П. Блазерна (1836—1918) представил результаты исследований по измерению значения тока во вторичной ("побочной") проволоке, натянутой параллельно проводу, замыкающему лейденскую батарею, в изданной в Вене работе "Об индуцированном токе побочной батареи" [1, с. 258—263]. Он заявил в ней: "При одном и том же главном проводе сила индуцированного тока для побочных проводов различной длины не будет постоянной, но возрастает до известного предела-максимума, — а затем снова убывает". Он показал графически изменения значения напряжения во вторичной цепи [1, с. 261] в виде весьма сглаженной кривой, но все же похожей на резонансную.

В 1857—1862 г. видный германский физик В. Феддерсен (1832—1918) про-

водил измерения периода колебаний при разряде объединяемых в группы лейденских банок, нагружаемых проводами различной длины. В 1862 г. в напечатанной в "Анналах физики" Прусской Академии наук работе "Об электрическом разряде лейденской банки" [1, с. 275—285] он сообщил о получении значений в пределах от 1,32 до 39,8 мкс при длине замыкающих цепей от 5,26 до 1343 м соответственно.

Перечисленные работы лишь поясняют, что великий немецкий физик Г. Р. Герц (1857—1894) открывал невидимые глазу ЭМК не на "пустом месте". Нет оснований полагать, что его посетило внезапное "озарение". Значимость его работ заключается в том, что он первым дал трактовку явлениям, которые многим представлялись в виде неопределенных образов. В продолжение теории и терминологии Максвелла он первым сформулировал понятие "электродинамическая волна" [1, с. 156—165]. В значительной части исследований Герц выявлял отличия ЭМК от световых, изучал их особенности: как и свет, они с одинаковой скоростью распространяются в вакууме и воздухе; в отличие от света они проникают сквозь деревянные и каменные препятствия, туман, но не перемещаются в земле и воде; не проходят внутрь даже самых тонких металлических преград, а только отражаются от них.

Герц предложил реальную и надежно работающую приемно-передающую систему (ППС), повторенную многими физиками-экспериментаторами. В передатчике антенной служил изобретенный им диполь, в приемной части — настраиваемый контур. Однако длину искры Герцу приходилось измерять "на глаз", применяя мерные линейки и увеличительные лупы.

Сразу же после опытов Герца у многих возникли предложения по использованию ППС для беспроводных передач телеграфных сигналов. Однако сам он не понимал значимости открытия. Сведения о высокочастотных ЭМК, так же как и электродинамические постулаты Максвелла, он относил к абстрактным знаниям, а не к реальной жизни. Так он говорил на лекциях в учебном заведении и отвечал на вопросы студентов. В 1889 г. германскому инженеру Ф. Губеру он написал, что для переноса колебаний, используемых в телеграфии или телефонии, например, 1000 единиц в секунду, в технических устройствах понадобилось бы соорудить нереальные контуры размерностью в 300 км [1, с. 32].



Электропроводность порошков

В 1884—1886 г. итальянский физик Ф. Кальцески-Онеси (1853—1922) из г. Лапедона исследовал проводимость металлических опилок, нанесенных на изолирующие пластины разных форм, а также помещенных в цилиндрические стеклянные или эбонитовые трубки [1, с. 350—353]. Пластины или трубку подключали к батарее питания через гальванометр, индицирующий ток. Стрелка гальванометра показывала прохождение тока при подключении к батарее, после чего возвращалась в нулевое положение из-за потери металлических опилками проводимости. Поэтому требовалось восстановление исходного состояния порошка. Частичному ускорению процесса помогли обратные по полярности воздействия батареи на цепь. Иногда в качестве звукового индикатора проводимости Кальцески-Онеси использовал телефонный аппарат параллельно батарее или последовательно с гальванометром. Он обнаружил, что телефон мгновенно возвращает металлические опилки в состояние проводимости при разрыве цепи. Далее он заменил телефон электромагнитом, а потом подобранной катушкой индуктивности с получением аналогичного результата. Он пришел к выводу, что проводимость металлических опилок изменяется благодаря возбуждению ЭДС самоиндукции в индуктивном элементе цепи.

Исследования проводимости металлических порошков продолжил в 1890 г. французский профессор физики Католического университета в Париже Э. Бранли (1844—1940). Он повторил эксперименты Кальцески-Онеси и подтвердил сделанные им наблюдения. Вначале он также наносил тонкие слои измельченной меди, железа, алюминия и других металлов на прямоугольные (7×2 см) пластины из матового стекла. В дальнейшем металлические опилки, иногда в смеси с изолирующими жидкостями, он насыпал в стеклянные или эбонитовые трубки с электрическими проводящими стержнями на торцах.

Описания опытов и обобщенные результаты исследований Бранли по-

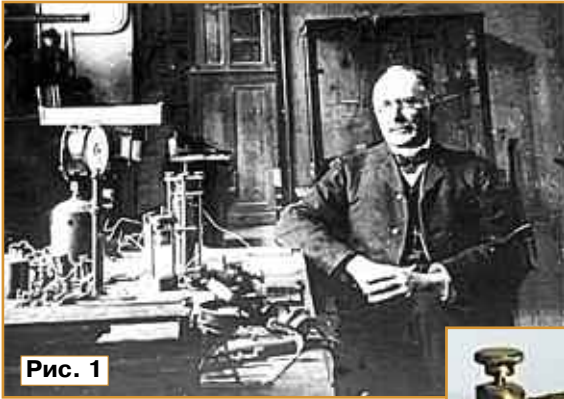


Рис. 1

ты он так и не прошел. В родной Франции ему поклоняются как первопроходцу в области радио.

Первым, в полной мере оценившим исследования Бранли, был известный английский физик О. Лодж (1851—1940). Он предложил трубку с металлическими опилками использовать для обнаружения высокочастотных ЭМК — "волн Герца". Радиокондуктор он пожелал

местил в отчеты, изданные в 1890 г. и 1894 г. [1, с. 353—357]. Он сообщил, что "в цепи, объединяющей батарею питания, гальванометр и эбонитовую трубку с металлическими опилками, изначально проходит ничтожный ток, однако у трубки сопротивление резко уменьшается, что видно по сильному отклонению гальванометра, если вблизи контура произвести один или несколько разрядов". "Действие уменьшается при увеличении расстояния, но его очень легко наблюдать, даже без специальных предосторожностей, еще на расстоянии более 20 м, причем искровой аппарат работал в зале, отделенном тремя большими комнатами". "Чтобы действие имело место, контур необязательно должен быть замкнут". "Прохождение через чувствительное вещество индуцированного тока производит то же действие, что и искра на расстоянии (индуцируемый контур содержит катушку индуктивности, трубочку с опилками, элемент питания и гальванометр)". "Уменьшение сопротивления можно различными способами почти уничтожить, особенно слабыми отрывистыми ударами по дощечке, поддерживающей трубку".

Разработанную конструкцию стеклянной трубки с металлическим наполнителем Бранли назвал радиокондуктором (RK), т. е. проводником приходящих излучений. Дошедшее до наших дней фото Бранли в лаборатории представлено на рис. 1, радиокондуктора — на рис. 2, радиокондуктора в цепи с гальванометром и батареей — на рис. 3. На рис. 4 изображена схема электрических испытаний. Чтобы нейтрализовать шунтирующее действие батареи питания на радиокондуктор, Бранли помещал в цепь проволочные резисторы с обычной (виток к витку) намоткой на каркасе, поэтому обладающие некоторой индуктивностью (рис. 5). Отдельные исследователи творчества Бранли принимают их за элементы селекции.

Было подмечено, что чувствительность радиокондуктора возрастает при удлинении присоединяемых к нему проводов. Такую особенность использовали при размещении его в экранирующем футляре (с целью защиты от нежелательных помех). Чувствительность восстанавливали путем выведения метровых проводов через отверстие в ящике. Эти провода впоследствии почитатели Бранли сочли антеннами.

Бранли три раза номинировали на Нобелевскую премию, однако в лауреа-

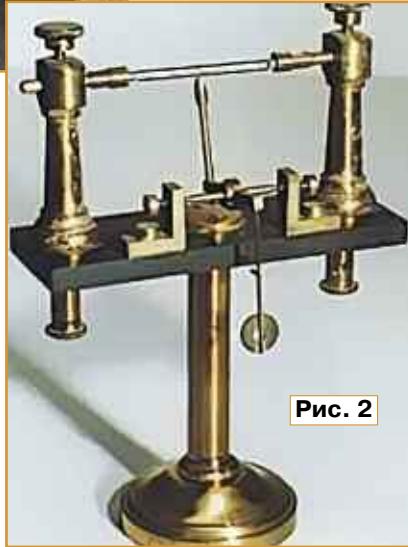


Рис. 2

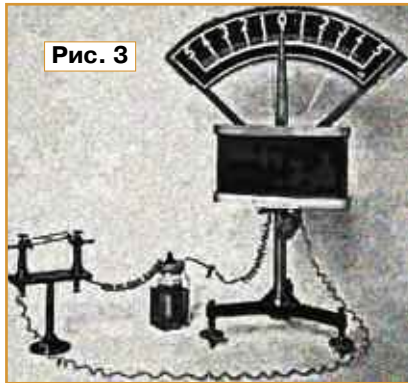


Рис. 3

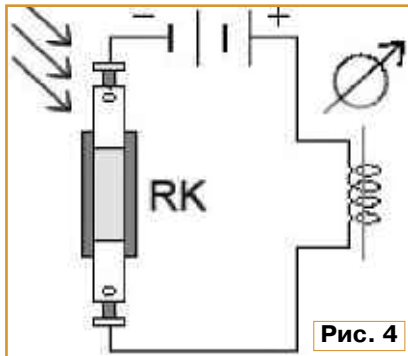


Рис. 4

назвать когерером (от англ. to cohere — сцепляться), поскольку при прохождении "слабого тока внутри трубки частицы "склеиваются" между собой. Этот термин он озвучил впервые в публичной обзорной лекции "Творение Герца", произнесенной

в лондонском Королевском институте в июне 1894 г. и посвященной памяти умершего в начале года Г. Герца. В популярном виде он изложил достигнутые результаты. В ряду других ученых он отметил интерес, проявленный российским физиком и электротехником А. Г. Столетовым (1839—1896) к исследованию влияния световых эффектов на искрообразование в цепях Герца. Лодж высказал идею включения телеграфного ключа в ППС Герца [1, с. 424—445]. На рис. 6 Лодж (сидит) изображен в лаборатории вместе со своим помощником Дж. Бердом (1888—1946) — будущим "отцом" электромеханического телевидения.

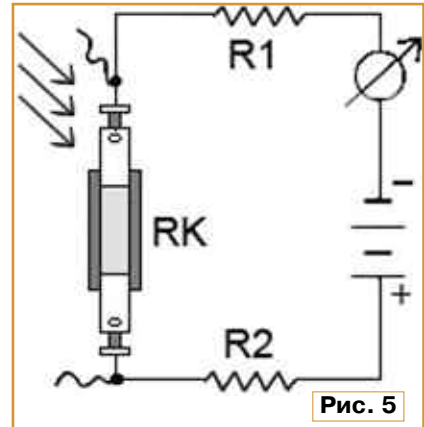


Рис. 5



Рис. 6

Отметим, что в научно-технической литературе идея телеграфирования без проводов первоначально была предложена в 1890 г. в российском журнале "Электричество" в виде комментария к статье профессора физики О. Д. Хвольсона (1852—1934) [1, с. 415]. В 1892 г. знаменитый английский физик и химик В. Крукс (1832—1919), сам не занимавшийся вопросами передачи кодовых сообщений по эфиру, в одном из журналов спиритического профиля дал удивительно точное ясновидящее описание беспроводной ППС [1, с. 416—420].

14 августа 1894 г. Лодж выступил в Оксфордском университете на научной сессии Британской ассоциации по внедрению научных достижений. На заседании он показал одну из своих конструкций трубчатого (из стекла) когерера, запол-

ненного железными опилками в смеси с ртутью и маслом (рис. 7). Он продемонстрировал прием ЭМК с расстояния 40 ярдов (37 м) от осциллятора (излучателя) Герца с регистрацией сигнала тремблором (электрическим звонком). Лодж не додумался до использования вибрации звонка для сотрясения стеклянной трубки, т. е. приведения когерера в исходное

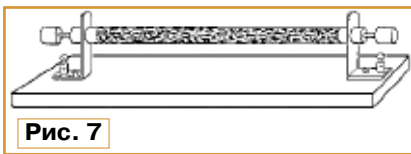


Рис. 7

состояние к приходу следующего импульса. Удивительно, но по схеме соединений (рис. 8) на рабочем столе когерер и звонок расположили рядом, однако на разных основаниях. Для механического воздействия на когерер добавили еще один "сотрясатель" — часовой механизм быстрого вращения, срабатывающий не синхронно с приходом ЭМК.

Немного позже когерер и электрозвонок все-таки объединили на общей доске, но все равно не получили эффекта восстановления работоспособности устройства, поэтому механический "сотрясатель" сохранили. Кроме того, у приемного устройства Лоджа не было антенны, а для электрического звонка требовался довольно большой ток, поэтому устройство не отличалось высокой чувствительностью.

Лодж был больше "кабинетным" ученым, чем практиком. У телеграфии без проводов он не усмотрел будущности, поэтому ограничился только созданием лабораторных макетов, как бы соединивших эксперименты Герца и Бранли. Однако в Великобритании Лоджа признают как одного из пионеров и зачинателей телеграфии без проводов.

"Волны Герца" в России

Профессор физики Московского университета А. Г. Столетов приступил к повторению экспериментов Герца в 1888 г. Он сосредоточился на проведении опытов "по действию световых лучей на электрические заряды слабого потенциала", описания которых представил в статье "Актинно-электрические исследования" (1888 г.), опубликованной в "Журнале Русского физико-химического общества". С изложением методики проведения экспериментов и материалов статьи он выступил 30 декабря 1889 г. на Восьмом съезде русских естествоиспытателей и врачей [2]. Повторно на съезде 2 января 1890 г. Столетов в речи, названной "Эфир и электричество", провозгласил "начало новой эпохи в развитии науки", наступившей благодаря открытию Максвеллом и Герцем невидимых глазу быстрых электрических колебаний.

Четыре дня спустя на съезде профессор физики Петербургской военно-медицинской академии Н. Г. Егоров (1849—1919) с помощниками "показывал восемь опытов, производимых Герцем, относящихся к обнаружению электромагнитных колебаний, изучению их свойств и условий распространения в воздухе". До съезда Егоров выступал со

своими первыми демонстрациями опытов Герца и пояснениями к ним еще в апреле и мае 1889 г.

Во время съезда участники и гости посетили Минный офицерский класс в Кронштадте, где в физическом кабинете преподаватель физики и электротехники А. С. Попов (1859—1906) показал собранную им установку для демонстрации

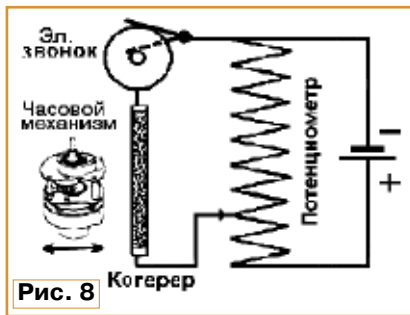


Рис. 8

опытов Герца по обнаружению "электромагнитных волн". Публично с лекцией "Об электрических колебаниях с повторением опытов Герца" А. С. Попов выступил 22 марта 1890 г. в Морском музее Главного Адмиралтейства С.-Петербурга [3, с. 47, 48].

А. С. Попову были знакомы работы американского инженера-электротехника Н. Тесла (1856—1943). Им "в феврале 1891 г. были воспроизведены и продемонстрированы трансформаторы Тесла и опыты с ними" [3, с. 48]. В 1893 г. Попов познакомился с антеннами Тесла, будучи командированным в США на Чикагскую Всемирную выставку. В 1894 г. Попов повторил опыты Бранли и Лоджа. К концу 1894 г. он изготовил версию приемного аппарата Лоджа — "радиометр" — грозоотметчик с вертикальной антенной. В начале 1895 г. он демонстрировал прибор на заседании физического отделения Русского физико-химического общества (РФХО), в учебных заведениях и на лекциях для широкой аудитории в С.-Петербурге.

День в истории

7 мая (25 апреля) 1895 г. на очередном заседании РФХО А. С. Попов выступил с историческим докладом "Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям" [3, с. 53, 54], где сделал сообщение о "приборе, предназначенном для показывания быстрых колебаний", соединенном с внешним проводником, "находящимся в сфере их действия". Он демонстрировал ППС, в котором приемник автоматически принимал ЭМК, исходящие от осциллятора Герца, размещенного в соседнем здании на расстоянии 30 саженей (64 м). Передатчик ППС был маломощный, и А. С. Попову было очевидно, что предпринимать попытки налаживания телеграфной связи с ним было еще преждевременно. Однако приемная часть была уже довольно чувствительной для регистрации ЭМК, порождаемых мощными источниками, например, грозowymi разрядами. Приемник улавливал их на расстоянии до 30 км.

Для практической реализации приемник было решено преобразовать в грозоотметчик с добавлением пище-

го аппарата братьев Ришар для автоматической записи на бумажную ленту. Напомним, что первый грозоотметчик демонстрировали на выставке в Нижнем Новгороде в 1896 г., после чего по назначению он работал до 1927 г. в Лесном институте С.-Петербурга (ныне С.-Петербургская государственная лесотехническая академия имени С. М. Кирова). А. С. Попов использовал также разработанные аппараты в учебном процессе в качестве наглядных пособий.

Научное деяние

Значимость первоначальных и дальнейших работ А. С. Попова очень велика. Хотя при лабораторных исследованиях Г. Герца, Э. Бранли, О. Лодж предложили и технические решения для их осуществления, они оказались пригодны лишь для эффектных демонстраций изучаемых явлений. Одновременно они были далеки от полезной применимости для будоражащей умы телеграфии без проводов. Ученые изначально не озадачивали себя прикладными завершениями работ. Спустя годы Лодж, например, вспоминал, что вопросами индикации ЭМК когерером он занялся попутно. Не получилось, чтобы они полностью поглотили его.

За рубежом и в России многие повторили эксперименты названных ученых и на этом остановились. Никто больше сделать ничего не смог. Работы А. С. Попова доказали практическую необходимость накопленного ими "абстрактного" материала. На примере грозоотметчика он показал равнозначность ЭМК искусственного и природного происхождения. Заметим, что в конце XIX века проблемы грозозащиты многим казались актуальными. С двумя статьями Лоджа о громотводах, считающимися специалистами глубокими по содержанию, можно ознакомиться в [1, с. 313—331].

К 15 декабря 1895 г. А. С. Попов подготовил отчет о выполненных исследованиях и разработках. Работа под названием "Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний" была опубликована в январском номере "Журнала РФХО" за 1896 г., имевшем международную рассылку [1, с. 449—458]. В материале А. С. Попов раскрывает конструктивные и схемные решения созданных аппаратов. В приемной части он отказался от предложенного Лоджем часового механизма. Впервые в практике электрических соединений он заставил основные элементы устройства функционировать в режиме автоматической обратной связи: ударник чашки электрического звонка на обратном пути (после срабатывания от пришедшего сигнала), возвращаясь в исходное положение, ударял еще и по корпусу когерера. А. С. Попов повысил чувствительность устройства, для чего последовательно с когерером включил дополнительное чувствительное реле, которое своими контактами подключало обмотку электрозвонка к батарее питания. Так он создал своеобразный электромеханический усилитель тока. Кроме того, он добился от устройства еще большей чувствительности на приходящие ЭМК, подключив вертикальную мачтовую антенну и сделал заземление.

За рубежом и в России современные скептики, сомневающиеся в глубине и обстоятельности трудов Попова, заявляют, что технические решения в его приемниках были очевидны после применения Лоджем "сотрясателя" стеклянной трубки — часового механизма. С этим можно частично согласиться. Попов положительно отнесся к отказу от тряски когерера руками. Но если бы Лодж придумал сотрясать трубку молоточком электровонка, то мы, возможно, сейчас отменили юбилей именно этого события. Не умаляя заслуг Лоджа, все же скажем, что он придумал то, что сумел.

Открытие сделал все-таки А. С. Попов, но он, повторим, еще и придумал релеиный усилитель тока, присоединил к приемнику антенну и др. Аппарат получился невероятно надежным, что подтвердило серийное копирование его фабриками и заводами многих стран вплоть до 1910 г. И везде его называли "схемой Попова".

"Соавтор" А. С. Попова по открытию радио Э. Бранли в письме, опубликованном в "Журнале Французского физического общества" в 1898 г., заявил: "Телеграфия без проводов возникла в действительности из опытов Попова" [3, с. 49].

Спустя 10 лет (в 1908 г.) на запрос комиссии РФХО о вкладе А. С. Попова в открытие беспроводного телеграфа другой "соучастник" О. Лодж сообщил: "...я действительно использовал для восстановления чувствительности когерера автоматический молоточек или другой встряхиватель, приводимый в действие часовым или каким-либо иным механизмом, однако Попов впервые достиг того, что сам сигнал осуществлял обратное воздействие. Я полагаю, что в этом и состоит новшество, которым мы обязаны Попову" [3, с. 257].

Выдающаяся телеграмма

В конце января 1896 г. в условиях острова Котлин и помещений Кронштадского отделения Русского Технического общества А. С. Попов на метровых волнах провел испытания ППС применительно к использованию на море. Передатчик и приемник были соединены с одинаковыми антеннами в виде симметричных вибраторов с металлическими квадратными листами на концах. По договоренности с заказчиком, он передавал определенные закодированные сообщения [4].

24 (12) марта 1896 г. на очередном ученом собрании РФХО, происходившем в С.-Петербургском университете, А. С. Попов совместно со своим постоянным ассистентом П. Н. Рыбкиным (1864—1948) между зданиями учебного заведения (250 м) организовали беспроводную передачу текстового сообщения из двух слов. В демонстрации действовали ППС диапазона ДМВ с параболическими рефлекторными антеннами. Приемник заключили в экраняющий ящик [5]. На заседании присутствовали многие известные российские физики, электротехники, административные руководители армии и флота. Вот как в 1906 г. дважды описывал событие присутствовавший в зале приема Хвольсон: "Станция отправления была устроена в зале химической лаборатории Петербургского университета, приемная станция —

в зале заседаний, в старом физическом кабинете. Знаки передавались кодом Морзе, ключ которого находился у председателя Ф. Ф. Петрушевского. После каждого полученного знака председатель отмечал на доске соответствующую букву. Трудно описать восторг присутствовавших, когда на доске появились слова "HEINRICH HERTZ" [3, с. 94—97, с. 119—129]. С другими свидетельствами участников заседания можно ознакомиться в [6].

Косвенно событие подтверждается известным итальянским предпринимателем по внедрению радио Г. Маркони (1874—1937). Написанная под его диктовку автобиография "История моей жизни" [7] в значительной степени содержит избранные хвалебные выдержки из популярных газет и журналов, отображавших его успехи, но нет ни одной телеграммы, соотносящейся с его, кажущейся по мемуарам, "бравурной" жизнью. Можно предположить, что ему не удалось опередить Попова в отправке телеграммы по эфиру, а гордость и стремление к сохранению статуса не позволили хвастаться депешами, написанными вдогонку первому посланию.

Многие авторы современных публикаций (в основном в России) выражают сомнение в событии, связанном с первой телеграммой, тенденциозно прочтывают выступления и работы А. С. Попова, считают, что недостает документов, подтверждающих передачу слов. Однако при этом все сомневающиеся и ученые доверяют сообщениям о том, что Маркони перекинул три "точки" буквы S через Атлантический океан 12 декабря 1901 г. Они никогда не знакомились с настоящими документами об этом, думают, что "там", откуда они черпают сведения, — "все по-честному". Между тем хорошо известно, и на это прозрачно намекает сам Маркони [7], что из-за незнания законов распространения ЭМК в атмосфере и несовершенства аппаратуры телеграмма не была принята [8]. Н. Тесла, будучи к 1901 г. крупным специалистом по передаче ЭМК на большие расстояния, не поверил в такое событие. При этом он утверждал, что сам проводит сеансы биологической радиосвязи с Марсом.

Маркони ловко обыграл случившуюся неудачу: он пригласил на пресс-конференцию ангажированных журналистов, которые напечатали о нем восторженные публикации, после чего серьезных специалистов уже никто не слушал. В результате трансатлантическая операция для ее организатора обернулась ощутимой выгодой.

Следует отметить также, что А. С. Попов и Г. Маркони никогда не обменивались телеграммами [9].

Восход электронного радио

В истории техники известно много примеров освоения научно-технических достижений в два этапа: сначала — в примитивном варианте, а затем — в более совершенном. Например, в воздух люди поднялись сначала на воздушных шарах и дирижаблях, а уже потом на самолетах. Впервые показанные Бердом 85 лет назад (в 1924 г.) электромеханические телевизоры серийно выпускали и эксплуатировали во многих странах (и в

России тоже) почти 15 лет. Однако телевидение на основе вращающегося диска с отверстиями оказалось фальстартом. Его заменил электронное телевидение, разработанное выходцем из России В. Зворыкинским (1889—1982).

С радио получалась такая же ситуация. Многие из наработанного в аппаратуре с когерером также оказались фальстартом. Путевку в будущее получили радиоприемники с полупроводниковыми детекторами и телефонами для приема сигналов на слух. И здесь главным конструктором новой техники стал А. С. Попов.

В мае 1899 г. П. Рыбкин и Д. Троцкий (1857—1918), ассистенты А. С. Попова, обнаружили у когерера детекторный эффект. После чего Попов разработал новый приемник без реле, но с головными телефонами. Через короткое время от когерера, как мало надежного элемента, он также отказался и заменил его на полупроводниковый диод, разработанный германским физиком К. Ф. Брауном (1850—1918) — будущим Лауреатом Нобелевской премии (1909 г.) [10].

Приемники нового поколения оказались заметно проще, меньших габаритов, легкими и более надежными [11]. С позиций сегодняшнего времени кажется, что создать их было еще легче, чем когерерные. Однако в европейских и американских центрах это не получилось. Более того, там вначале даже не поняли значимости полупроводникового детектора и еще долго "изобретали" и внедряли свои выпрямители ЭМК — ртутные, жидкостные, магнитные и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Из предыстории радио. Сборник оригинальных статей и материалов. Вып. 1. Под ред. Л. И. Мандельштама. — М.-Л.: изд-во АН СССР, 1948. Web-версия: <<http://lib.mexmat.ru/books/8553>>.
2. Стариков В., Лонгинов А. Радио 90 лет. — М.: изд-во "Знание", сер. "Радиоэлектроника и связь", 1985, №4. Web-версия: <http://www.amradio.ru/radioelbook/hystrory/art_020.html>.
3. А. С. Попов в характеристиках и воспоминаниях современников. — М.-Л.: изд-во АН СССР, 1958.
4. Марченков В. Творческое наследие Александра Степановича Попова. — <<http://rybkin.h16.ru/tvnasled.htm>>.
5. Мишенков С. 7 мая исполняется 110 лет радио и 60 лет Дню Радио! — Радио, 2005, № 5, 2-я с. обл., с. 4—6.
6. Кьяндская-Попова Е., Морозов И. К вопросу о первой в мире радиограмме. — <http://fiz.1september.ru/2001/12/no12_01.htm>.
7. Marconi G. The story of my life. — Marconi's Wireless Telegraph Co/ The Bodleian library; University of Oxford archives.
8. Григоров И. Загадка Маркони. — <<http://www.qrz.ru/articles/detail.phtml?id=141>>.
9. Морозов И. А. С. Попов с Г. Маркони не встречался и подарки ему не дарил. — <http://fiz.1september.ru/2001/12/no16_2.htm>.
10. Меркулов В. 60 лет создания транзистора. Начало применения полупроводников. — Радио, 2007, № 12, с. 7—9; 2008, № 1, с. 5—7.
11. Пестриков В. Приемник, переживший века. — <<http://www.qrz.ru/articles/article100.html>>.