

# Технологии обнаружения радиосигнала на заре практической радиосвязи

В. М. Пестриков

Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения

pvm205@yandex.ru

**Аннотация.** The research is devoted to radio signal detection technologies in the early days of practical radio communications. Here we present a detailed history of the coherer's invention and its decades of existence until the day it was replaced by more sensitive electrolytic and crystalline detectors.

**Ключевые слова:** Hertz experiments; spark; radio waves; coherer; spark transmitter; wireless telegraphy

## I. ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XIX века идея передачи информации посредством радиоволн буквально витала в воздухе. Генератор Герца был первым устройством, который с технической точки зрения отвечал требованиям радиосвязи. Вместе с тем, не существовало совершенного приемника, соответствующего этим требованиям, то есть способного принять информацию от этого передатчика. Изобретение когерера позволило ликвидировать этот пробел и создать такой приемник. Когерер явился своеобразным зерном из которого, по-существу, выросла радиосвязь.

## II. НЕСОВЕРШЕННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

О реальном существовании радиоволн стало известно только после экспериментов немецкого физика Генриха Герца. Ему удалось создать детектор (лат. *detector* – открыватель, от *detego* – открываю, обнаруживаю) электромагнитных волн, который позволял судить об их присутствии в окружающем пространстве. Однако первая конструкция детектора такого рода была не искусственная, а природная – биологическая, появилась она гораздо раньше, в самом конце XVIII века, и принадлежала итальянскому профессору медицины, специалисту в области гинекологии и акушерства Луиджи Гальвани (Luigi Aiosio Galvani) [1].

В 1789 году он зацепил медным крючком поясничные нервы свежепрепарированной лягушки, и, повесив ее на железные перила своего балкона, заметил, что мускулы лягушки начинают каждый раз сокращаться, когда соприкасаются с перилами. Гальвани проводил эксперименты в течение шести лет, в 1786 г. он обнаружил сокращение мышц препарированной лягушки во время разрядов атмосферного электричества, если они лежат на металлическом листе, рис. 1. Об использовании биологического детектора для обнаружения электромагнитных волн Гальвани и не помышлял. Ведь в те времена об их существовании ничего не знали. Однако

проведенные ученым опыты стали классическими, а их описание вошло во многие учебники физики и монографии по истории науки и техники. С позиций сегодняшнего дня результаты этих опытов видятся как ценнейшие зерна познания, которые дали богатые всходы, приведшие к возникновению радиотехники и созданию новых технологий.



Рис. 1. Луиджи Гальвани и его опыт на лягушках при воздействии атмосферного электричества. 1786 г.

В экспериментах Г. Герца в качестве индикатора (приемника) электромагнитных волн использовался резонатор, названный впоследствии его именем, сделанный из проволоки в виде большого круга с искровым промежутком в 3 мм, который можно было регулировать. Такая конструкция детектора электромагнитных волн годилась только для экспериментов в условиях лаборатории. Для практических целей, вне лаборатории, требовались более чувствительные детекторы электрических волн, и они в тот период времени существовали, но их особые свойства еще не были известны. Работа таких детекторов основывалась на изменении проводимости различных видов несовершенных электрических контактов, которые располагались в местах соединения микрофонов или в теле порошков и металлических опилок, когда они подвергаются различным типам электрических воздействий, но главным образом влиянию волн Герца. Свойства этих устройств открывались учеными неоднократно, прежде чем они привлекли к себе всеобщее внимание. Уже в 1835 г. шведский физик П. С. Мунк аф Розеншольд (P. S. Munck af Nordenschold) из университета в городе Лунд сообщил о внезапном увеличении проводимости смеси тонких металлических опилок, угля и других проводников, помещенных между железом и свинцовым электродом, при воздействии электрического разряда лейденской банки [2]. Это ранний пример эффекта когерера.

В 1879 г. английский изобретатель Дэвид Эдвард Юз (в современной транскрипции – Хьюз, David Edward Hughes, 1831–1900), заметил, что работающая индукционная катушка типа катушки Румкорфа способна

изменять сопротивление микрофона, если она находится недалеко от электрической цепи, состоящей из телефона и угольного микрофона. В телефоне, в этот момент, слышны звуки. Он пришел к выводу, что любая электрическая искра, независимо от того, как она получена, обуславливает звук в телефоне. Этот результат был получен за девять лет до опытов Герца.

В феврале 1880 г., Юз продемонстрировать свои опыты членам Королевского общества, его президенту Вильяму Споттисвуду (1825–1883) и его почетным секретарям Томасу Генри Гексли (1825–1895) и Джорджу Габриэлю Стоксу (1819–1903). Однако, столь почтенные ученые убедили Юза, что наблюдаемый им эффект обусловлен просто электромагнитной индукцией. Публикация об этом эпизоде из истории науки появилась лишь в 1899 г. Заметим, что Г. Стокс, главный, кто принизил значение опытов Юза, не поняв их сути, так ранее он отверг, как «незначительные», несколько представленных Королевскому обществу статей Фарадея и Максвелла.

### III. ИНДИКАТОРНАЯ ТРУБКА

С 1884 года итальянский физик Темистокле Кальцекки-Онести (Temistocle Calzecchi Onesti, 12.12.1853–22.11.1922) изучал свойства металлических порошков в эбонитовой и стеклянной трубках и обнаружил их высокую электропроводность при различных воздействиях, таких как, электрические токи замыкания цепи, молния, электростатическая индукция и т.д.

Его экспериментальное устройство состояло из стеклянной трубки, содержащей металлический порошок никель-серебро со следами ртути, которая помещалась между двумя стальными электродами в вакууме, рис. 2. При воздействии на порошок электромагнитного поля, высокое сопротивление порошка становилось относительно низким, пока его не встряхивали, то есть не прикладывали ударной силы для разрушения образовавшихся связей сцепления между частицами.

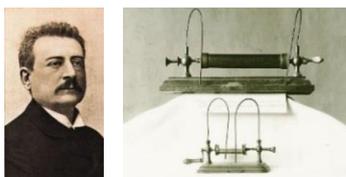


Рис. 2. Темистокле Кальцекки-Онести и его устройства для исследования проводимости металлических порошков

Основываясь на этом важном результате и после проведенных исследований, Кальцекки сконструировал так называемую «индикаторную трубку» (ит. *tubetto a limatura*), которая спустя много лет стала называться когерером.

Эти исследования почти на шесть лет опередили подобные исследования французского физика Эдуарда Бранли и англичанина Оливера Лоджа, хотя им в значительной степени приписывают это открытие. В то время Кальцекки рассматривал свое изобретение

применительно для обнаружения молнии, а также как и сейсмический детектор.

### IV. РАДИОКОНДУКТОР

Французский профессор физики из Католического университета в Париже, Эдуард Бранли (фр. *Édouard Eugène Désiré Branly*, 23.10.1844–24.03.1940) не занимался вопросами беспроводной телеграфии. В 1890 году он взялся исследовать сопротивление различных металлических опилок. Для удобства профессор наполнял опилками стеклянные трубки, а их концы закрывал медными пробками с клеммами для подключения элементов электрической цепи. Электрическая цепь, в проводимых экспериментах, состояла из последовательно соединенной стеклянной трубки, содержащей опилки, гальванометра и гальванической батареи, рис. 3. В одном из плановых экспериментов Э. Бранли случайно обратил внимание, что стрелка гальванометра отклонилась, в тот момент, когда в соседней лаборатории проводились опыты с индукционной катушкой Румкорфа. Ученый сделал вывод, что отклонение стрелки связано с изменением сопротивления металлических опилок в стеклянной трубке, на которую действовали лучи Герца, исходящие при включенной индукционной катушки. При этом опилки сцеплялись между собой и замыкали цепь, а стрелка гальванометра в этот момент зависала. Сопротивление опилок восстанавливалось лишь после разрушения, получившегося сцепления, например, от легкого сотрясения.

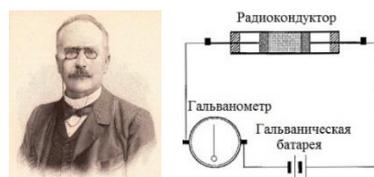


Рис. 3. Эдуард Бранли (1904 г.) и его радиокондуктор

24 ноября 1890 г. Бранли сделал сообщение о своей работе в Академии наук Парижа, которое озаглавил как «Вариации проводимости при различных электрических воздействиях» [3]. Сообщение Бранли не произвело особого впечатления на европейское научное сообщество. Лишь в 1894 г. после экспериментов, проведенных британским физиком Оливером Лоджем, открытие французского ученого вызвало реальный интерес в научных кругах. Благодаря этому имя Э. Бранли навсегда осталось в истории радиотехники. Для зарождающейся радиосвязи главным оказалось то, что было сконструировано практическое устройство для обнаружения в пространстве электромагнитных волн. Радиокондуктор Бранли сделал беспроводную телеграфию реальностью. Это как раз тот элемент, которого не хватало для создания практического приемника в системе радиосвязи.

В 1900 г. профессор Бранли за «открытие принципа беспроводной телеграфии» удостоился ордена Почетного легиона и в том же году ему на Парижской выставке был вручен Гран-при за изобретение «радиокондуктора». Он трижды был в числе номинантов

на Нобелевскую премию, но так ее и не получил. Некоторое время Бранли считали изобретателем радио (беспроволочной связи с помощью радиоволн), однако таковым он остался только у себя на родине, во Франции. Следует заметить, что Эдуард Бранли в этом вопросе отдавал приоритет русскому ученому Александру Попову. Именно Попову суждено было реализовать идею беспроводного телеграфа, в частности, придумать свою конструкцию «радиокондуктора» с автоматическим механизмом встряхивания металлического порошка и тем самым решить проблему постоянного дискретного приема радиосигнала. В сравнении с существовавшими в то время устройствами радиокондуктор оказался достаточно удобным индикатором для регистрации электромагнитных волн, появившихся от электрической искры, – об этом судили по резкому падению электрического сопротивления металлических опилок.

## V. КОГЕРЕР

В 1893 году физик В. Б. Крофт (W. B. Croft) продемонстрировал эксперименты Бранли на собрании Физического общества в Лондоне (Physical Society in London). Крофту и другим было непонятно, на что реагирует трубка Бранли: на искры или свет от искр. Профессор Оксфорда Джордж Минчин (George Minchin) заметил, что трубка Бранли может реагировать на волны Герца так же, как и его солнечная батарея, и написал статью [4]. Таким образом, стало очевидно, что в конце 1893 года профессор Минчин и несколько других физиков четко осознали, что эффект, обнаруженный Бранли, был вызван электромагнитным излучением.

Статью Минчина прочитал английский физик Оливер Лодж, который понял, как кардинально можно улучшить кондуктор Бранли. В 1894 г. он сконструировал чувствительный индикатор электромагнитных волн и придал ему форму переносного прибора, дополнив его механическим устройством для непрерывного встряхивания опилок (устройство прерывания), рис. 4. Для разрыва контакта опилок и приведения приёмника в готовность к приему следующего сигнала требовалось лёгкое встряхивание детектора. Встряхиватель работал от автономного часового механизма в независимости от поступающих электромагнитных колебаний и поддерживал когерер в постоянной готовности к приему сигналов.

Лодж назвал свой индикатор «когерер» или «кохерер» (от англ. coherent, «связующий», «сцепляющий»). Этот прибор представлял собой стеклянную трубку с двумя электродами, в которую помещались мелкие металлические опилки. Действие прибора основано на влиянии электрических разрядов на металлические порошки. В обычных условиях когерер обладает большим сопротивлением, так как опилки имеют плохой контакт друг с другом. Пришедшая электромагнитная волна создает в когерере переменный ток высокой частоты. Между опилками проскакивают мельчайшие искорки, которые спекают опилки. В результате сопротивление когерера резко падает. Снова вернуть прибору большое сопротивление можно, если его встряхнуть.

1 июня 1894 г., спустя несколько месяцев после смерти Генриха Герца, Оливер Лодж выступил с памятной лекцией о Герце, во время которой впервые публично продемонстрировал связь между проводимостью «радиокондуктора» Бранли и электромагнитными волнами. Во время демонстрации он осуществил передачу электромагнитных волн на короткое расстояние и использовал улучшенный вариант трубки Бранли.



Рис. 4. Оливер Лодж, общий вид его когерера и схема приемника электромагнитных волн

Благодаря когереру удалось уловить такие слабые электромагнитные волны, которые не мог обнаружить обычный резонатор Герца. Когерер вскоре стал стандартным детектором в ранних беспроводных телеграфных приемниках.

## VI. ОСОБЕННОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ЛОДЖА

В экспериментах Лоджа, его приемник в паре с передатчиком (генератором Герца) не являлся единой системой передачи информации и восстановление чувствительности когерера не было связано с приемом сигналов. Поэтому, в этом случае, приемник Лоджа по существу являлся чувствительным индикатором электромагнитных волн.

Понятие информации (лат. – *разъяснение, осведомление*) раскрывается указанием действий, в которых она участвует: передача, преобразование, хранение. Понятие передача информации предусматривает наличие двух объектов (передатчика и приемника), которые могут находиться в различных состояниях фиксации передаваемой информации, а также канала связи, отображающего состояния передатчика в состоянии приемника.

Общая схема системы передачи информации включает отправителя и получателя сообщений, кодирование в передатчике и декодирование в приемнике, а также канал связи. Передача информации проявляется, как правило, в виде случайного процесса. Это отражает тот факт, что вид сообщения и время передачи неизвестны заранее. Наименьшая единица количества информации «бит» – сообщение о состоянии объекта, имеющего два равновероятных состояния, то есть, когда имеется два равновероятных сообщения и передается одно из них.

Из сказанного выше об информации следует, что приемник Лоджа, не имел функции автоматического восстановления чувствительности. В связи с этим он не мог отображать последовательно во времени состояния передатчика и выполнять декодирование сообщений. Несмотря на это индикатор Лоджа, обладал повышенной чувствительностью и представлял собой первую попытку создания системы беспроводного телеграфа и, поэтому привлек внимание физиков, занимавшихся проблемами беспроводной телеграфии.

## VII. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОГЕРЕР

Доклад Лоджа произвел на русского физика А. С. Попова огромное впечатление. Его сотрудник П. Н. Рыбкин писал по этому поводу: «Я до сих пор помню, с каким волнением показывал А. С. мне номер журнала, в котором была помещена статья Лоджа, где он описывал свои знаменитые опыты по применению открытия Бранли к устройству когерера для обнаружения при помощи его электрических колебаний».

Это подтолкнуло А. С. Попова к научным исследованиям, которые привели его к изобретению новой конструкции когерера, в которой происходило автоматическое восстановление чувствительности когерера. Он дополнил когерер встряхивателем (молоточком звонка), который управлялся принимаемыми сигналами, а не от заводной пружины часов, как у О. Лоджа. После приема каждой посылки затухающих колебаний от передатчика автоматически производилось встряхивание когерера, то есть автоматически восстанавливалась его чувствительность.

Это дополнение было принципиальным. Для этого, в цепь с когерером было включено реле, обеспечивавшее подключение исполнительного устройства – электрического звонка, молоточек которого бил по трубочке, встряхивая опилки и восстанавливая сопротивление когерера после приема каждой посылки затухающих электромагнитных колебаний, рис. 5. В опытах А. С. Попова сопротивление когерера падало с 100000 до 1000–500 Ом, то есть в 100–200 раз. Конструкция когерера Попова включала трубку с опилками, которая была подвешена горизонтально между зажимами М и N на лёгкой часовой пружине, а для большей эластичности она была согнута со стороны одного зажима зигзагом. Над трубкой расположен звонок так, чтобы при своём действии он мог производить лёгкие удары молоточком посередине трубки, защищённой от разбивания резиновым кольцом. Трубка и звонок крепились на общей вертикальной дощечке, на ней же располагалось реле. В зависимости от замыкания телеграфного ключа прерывателя посылка могла быть короткой или продолжительной.

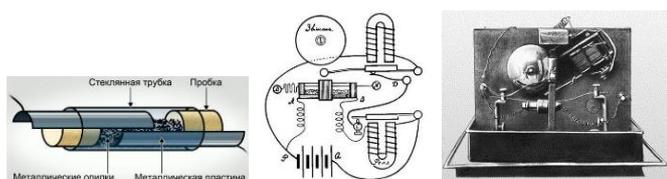


Рис. 5. Устройство когерера, схема автоматического когерера А. С. Попова и общий вид практической конструкции радиоприёмника. 17 апреля 1895 г.

17 апреля 1895 г. был собран и успешно испытан лабораторный вариант системы беспроводного телеграфа с использованием автоматического когерера. К маю 1895 г. были разработаны основные структурные элементы, вошедшие впоследствии в систему беспроводной связи, в частности, была существенно повышена чувствительность индикатора электромагнитного поля [5].

## VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Русским физиком А. С. Поповым было изобретено недостающее важнейшее звено системы беспроводного телеграфа – декодирующее устройство, которое позволяло фиксировать в приемнике каждый элемент передаваемой информации во времени, то есть каждой серии затухающих колебаний, создаваемых передатчиком Герца. Создание такого устройства завершило логику взаимодействия структурных элементов в системе передачи и приема информации, то есть сформировались принципы создания беспроводного телеграфа.

Появлению беспроводного телеграфа, помимо прочего, во многом способствовал прогресс в развитии проводного электромагнитного телеграфа. Были проработаны в необходимом объеме такие вопросы, как кодирование сообщений и запись их на телеграфную ленту, созданы устройства, которые нашли применение и в радиотелеграфе, например, реле.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Пестриков В.М. «Самый замечательный прибор» – плод дискуссии // ITnews (Новости информационных технологий). 2005. № 04. С. 26–28.
- [2] Munk af Rosenschöld där, Versuche über die Fähigkeit starrer Körper zur Leitung der Elektrizität // Annalen der Physik und Chemie. Leipzig. 1835. Band XXXIV. P. 437–463.
- [3] Branly E. Variations de conductibilité sous diverses influences électriques // Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Paris. 1890. Tome 111. No. 21. P. 785–787.
- [4] Minchin G.M. The Action of Electromagnetic Radiation on Films containing Metallic Powders // Proc. Phys. Soc. London, Nov. 24, 1893. Vol. 12. P. 455–460.
- [5] Попов А.С. Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям // Журнала РФХО. 1895. Т. 27. Вып. 8. С. 259–260.