

Севастопольский государственный университет

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ и РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Infocommunications
and Radio Technologies

2020
Том 3
№ 4

2020
Vol. 3
No. 4

Sevastopol

Почетный главный редактор

Президент РНТОРЭС им. А. С. Попова, академик РАН ГУЛЯЕВ Ю. В.

Главный редактор

д. т. н., проф. ГИМПИЛЕВИЧ Ю. Б. (СевГУ, Севастополь, Россия)

Редакционная коллегия

д. ф.-м. н., проф. АБРАМОВ И. И. (БГУИР, Минск, Беларусь)

д. ф.-м. н. ВОЛЬВАЧ А. Е. (КрАО, Крым, Россия)

д. т. н., проф. ГРОМОВ Д. В. (МИФИ, Москва, Россия)

к. т. н. ЕРМОЛОВ П. П. (СевГУ, Севастополь, Россия — зам. главного редактора)

д. т. н., проф. ИВАНОВ В. Э. (УрФУ, Екатеринбург, Россия)

д. ф.-м. н., проф. КАЛОШИН В. А. (ИРЭ РАН, Москва, Россия)

д. ф.-м. н., проф. ЛЕРЕР А. М. (ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия)

д. ф.-м. н., проф. МАГДА И. И. (ННЦ «ХФТИ», Харьков, Украина)

д. т. н., проф. НОСКОВ В. Я. (УрФУ, Екатеринбург, Россия)

д. ф.-м. н. ОБУХОВ И. А. (НПП «Синергетика», Москва, Россия)

д. т. н., проф. ПЕСТРИКОВ В. М. (СПбГИКиТ, Санкт-Петербург, Россия)

д. т. н., проф. ПЕСТРЯКОВ А. В. (МТУСИ, Москва, Россия)

д. ф.-м. н., проф. КУРАЕВ А. А. (БГУИР, Минск, Беларусь)

д. т. н., проф. СОВЛУКОВ А. С. (ИПУ РАН, Москва, Россия)

д. ф.-м. н., проф. СТАРОСТЕНКО В. В. (КФУ, Симферополь, Россия)

д. т. н., проф. ШИРОКОВ И. Б. (СевГУ, Севастополь, Россия)

Международный редакционный совет

д. т. н., проф. АФОНИН И. Л. (СевГУ, Севастополь, Россия)

д. ф.-м. н., проф. БОГУШ В. А. (БГУИР, Минск, Беларусь)

проф. ИЛЬЧЕВ С. Д. (Durban University of Technology, South Africa)

проф. КАРМАКАР Н. Ч. (Monash University, Australia)

д. т. н., проф. КНЯЗЕВ С. Т. (УрФУ, Екатеринбург, Россия)

д. п. н. НЕЧАЕВ В. Д. (СевГУ, Севастополь, Россия)

д. т. н., проф. НОВИКОВ В. В. (ЧВВМУ им. П. С. Нахимова, Севастополь, Россия)

Сайт журнала: <https://www.sevsu.ru/nauka/pechat-izdaniya/item/1268-njirt>

Подписано к печати 26.03.2021

Формат 64×90/16. Усл. печ. л. 8,67. Уч.-изд. л. 8,5. Тираж 200 экз.

Адрес редакции: ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053

Адрес для переписки: а/я 63, Севастополь, 299053

Тел. +7 (978) 745-27-51, e-mail: icrt.mail@gmail.com

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64134 от 25.12.2015

Отпечатано в типогр. Printex

ул. Кулакова, 59а, Севастополь, 299011. Тел.: +7 8692 464 744, +7 8692 455 678

Honorary Chief Editor

President of RNTORES n. a. A. S. Popov, Academician of RAS GULYAEV Yu. V.

Editor in Chief

D.Sc., Prof. GIMPILEVICH Yu. B. (SevSU, Sevastopol, Russia)

Editorial Board

D.Sc., Prof. ABRAMOV I. I. (BSUIR, Minsk, Belarus)

D.Sc. VOLVACH A. Ye. (CrAO, Crimea, Russia)

D.Sc., Prof. GROMOV D. V. (MEPhI, Moscow, Russia)

C.Sc. YERMOLOV P. P. (SevSU, Sevastopol, Russia – Deputy Editor in Chief)

D.Sc., Prof. IVANOV V. E. (UrFU, Ekaterinburg, Russia)

D.Sc., Prof. KALOSHIN V. A. (IRE of RAS, Moscow, Russia)

D.Sc., Prof. LERER A. M. (SFU, Rostov-on-Don, Russia)

D.Sc., Prof. MAGDA I. I. (KhIPT, Kharkov, Ukraine)

D.Sc., Prof. NOSKOV V. Ya. (UrFU, Ekaterinburg, Russia)

D.Sc. OBUKHOV I. A. (Sinergetika Ltd., Moscow, Russia)

D.Sc., Prof. PESTRIKOV V. M. (SPbSUFT, Saint-Petersburg, Russia)

D.Sc., Prof. PESTRYAKOV A. V. (MTUSI, Moscow, Russia)

D.Sc., Prof. KURAYEV A. A. (BSUIR, Minsk, Belarus)

D.Sc., Prof. SOVLUKOV A. S. (ICS of RAS, Moscow, Russia)

D.Sc., Prof. STAROSTENKO V. V. (CrFU, Simferopol, Russia)

D.Sc., Prof. SHIROKOV I. B. (SevSU, Sevastopol, Russia)

International Editorial Council

D.Sc., Prof. AFONIN I. L. (SevSU, Sevastopol, Russia)

D.Sc., Prof. BOGUSH V. A. (BSUIR, Minsk, Belarus)

Prof. ILCEV D. S. (Durban University of Technology, South Africa)

Prof. KARMAKAR N. Ch. (Monash University, Victoria, Australia)

D.Sc., Prof. KNYAZEV S. T. (UrFU, Ekaterinburg, Russia)

D.Sc. NECHAYEV V. D. (SevSU, Sevastopol, Russia)

D.Sc., Prof. NOVIKOV V. V. (P. S. Nakhimov ChHNS, Sevastopol, Russia)

Address:

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

E-mail: icrt.mail@gmail.com

Website: <https://www.sevsu.ru/nauka/pechat-izdaniya/item/1268-njirt>

Содержание — Contents

Радиотехника и связь (05.12.00) — Radio engineering and communication

Широков И. Б., Евдокимов П. А., Широкова Е. И. Контроль содержания вредоносных газов в воздухе с использованием микроволнового канала связи I. B. Shirokov, P. A. Evdokimov, and E. I. Shirokova, Control of harmful gases content in air with the use a microwave communication channel	389
Синицын Е. А., Фридман Л. Б. Выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля посадочного радиолокатора E. A. Sinitsin and L. B. Fridman, The remote equipment for precision approach radar alignment and trajectory control	399
Филиппов И. Ф. Базовые станции и абонентское оборудование 5G: анализ технических требований к ЭКБ I. F. Filippov, 5G base stations and user equipment: analysis of technical requirements for electronic components	409

Электроника (05.27.00) — Electronics

Громов Д. В., Полевич С. А. Влияние радиации на характеристики датчиков ультрафиолетового излучения на основе природного алмаза D. V. Gromov and S. A. Polevich, Effect of radiation on the characteristics of ultraviolet radiation sensors based on natural diamond	424
--	-----

История науки и техники (07.00.10) — History of science and technology

Пестриков В. М. Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты V. M. Pestrikov, Invention of an electronic tube audio frequency amplifier	433
Пестриков В. М. Ранние работы Ли де Фореста по беспроводной телеграфии V. M. Pestrikov, Lee de Forest's early work on wireless telegraphy	456
Ермолов П. П. Космополитизм С. М. Рытова в некрологе, посвященном академику Папалекси P. P. Yermolov, Cosmopolitanism of S. M. Rytov in the obituary dedicated to academician Papaleksi	508

УДК 621.396.67

Контроль содержания вредоносных газов в воздухе с использованием микроволнового канала связи

Широков И. Б., Евдокимов П. А., Широкова Е. И.

Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация
shirokov@ieee.org

Получено: 28 декабря 2020 г.

Отрецензировано: 11 января 2021 г.

Принято к публикации: 15 января 2021 г.

Аннотация: В работе описан новый метод определения изменения содержания вредоносных газов в воздухе, основанный на применении микроволнового канала связи для проведения фазометрических измерений с учетом метеорологических условий. На основе предложенного метода разработана структурная схема устройства и рассмотрены теоретические возможности его работы. Проведены экспериментальные исследования влияния метеорологических характеристик среды на набег фазы микроволнового сигнала.

Ключевые слова: микроволновые колебания, фазометрические измерения, набег фазы, диэлектрическая проницаемость, гомодинное преобразование, воздушная среда, метеорологические характеристики.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Широков И. Б., Евдокимов П. А., Широкова Е. И. Контроль содержания вредоносных газов в воздухе с использованием микроволнового канала связи // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 4. С. 389—398.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Широков, И. Б. Контроль содержания вредоносных газов в воздухе с использованием микроволнового канала связи / И. Б. Широков, П. А. Евдокимов, Е. И. Широкова // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2020. — Т. 3, № 4. — С. 389—398.

Control of harmful gases content in air with the use a microwave communication channel

I. B. Shirokov, P. A. Evdokimov, and E. I. Shirokova
Sevastopol State University
33 Universitetskaya str., Sevastopol, 299053., Russian Federation
shirokov@ieee.org

Received: December 28, 2020
Peer-reviewed: January 11, 2021
Accepted: January 15, 2021

Abstract: *The paper describes a new method for determining the change in the content of harmful gases in the air, based on the use of a microwave communication channel for measuring phase progression considering meteorological conditions. Based on the proposed method, a block diagram of the device is developed and the theoretical possibilities of its operation are considered. Experimental studies of the influence of meteorological characteristics of the environment on the phase progression of the microwave signal are carried out.*

Keywords: *microwave oscillations, phase measurements, phase progression, dielectric permittivity, homodyne conversion, air composition, meteorological characteristics.*

For citation (IEEE): I. B. Shirokov et al. “Control of harmful gases content in air with the use a microwave communication channel,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 389–398, 2020. (In Russ.).

1. Введение

Высокие темпы развития технологий на сегодняшний день связаны с образованием новых предприятий, в том числе и производств с токсичной и вредной средой. При этом технологический прогресс, направленный на улучшение благосостояния общества, усугубляет такие проблемы, как загрязнение окружающей среды и увеличение смертности на рабочих местах. Согласно оценкам Международной организации труда, ежегодно происходит 270 млн. несчастных случаев на работе, из них 350 тыс. со смертельным исходом [1–2]. В частности, производства, предполагающие работу в условиях возможного выброса или утечки газа, составляют примерно 30 % статистических показаний случаев отравления и летального исхода на предприятиях. Также, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), было выявлено, что около 16 % смертей в мире были вызваны болезнями, связанными с загрязнением окружающей среды.

При этом 92 % населения Земли проживают в районах, где показатели качества воздуха выходят за установленные ВОЗ рамки.

Современные газоанализаторы и системы мониторинга состава воздуха для предотвращения отравления и сигнализации утечки газа эффективны только в 60 % случаев. Такие устройства контроля состава газовой среды основаны на различных методиках измерения, например: оптических, магнитных, массово-весовых, ультразвуковых и химических [3—5].

Причины, по которым невозможно точно и оперативно обнаружить утечку или выброс газа, обусловлены следующими недостатками газоанализаторов: слабая защищенность датчиков от пыли, влаги, паров, длительное время установления показаний, отсутствие у многих приборов функции непрерывного мониторинга и возможность проведения только локального контроля газовой среды.

Таким образом, динамика производственного роста с целью повышения безопасности труда и жизнедеятельности требует новых методов и устройств контроля изменений состава воздушной среды.

2. Новый подход к мониторингу состава воздуха

В качестве нового подхода для решения проблем мониторинга состава воздуха предлагается разработанный метод контроля изменений содержания вредоносных газов в воздухе. Метод основан на фазометрических измерениях в СВЧ диапазоне и гомодинном преобразовании частоты [6—7]. Структурная схема устройства для реализации метода показана на рис. 1 [8]. Принцип работы устройства следующий.

Микроволновые колебания с начальной амплитудой U_1 , частотой f_1 и начальной фазой φ_1 , описываемые следующим выражением:

$$u_1(t) = U_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1), \quad (1)$$

с выхода генератора микроволновых колебаний (ГМВ) подают на микроволновый вход амплитудного модулятора (АМ).

На модуляционный вход амплитудного модулятора подают низкочастотный синхронизирующий сигнал с частотой F_1 , сформированный путем деления частоты сигнала кварцевого опорного генератора (ОГ):

$$u_2(t) = U_2 \cos\left(2\pi \frac{F_{CR}}{n} t + \frac{\varphi_{CR}}{n}\right) = U_2 \cos\left(2\pi F_1 t + \frac{\varphi_{CR}}{n}\right), \quad (2)$$

где F_{CR} — частота сигнала опорного генератора; n — коэффициент деления делителя частоты (D_1); U_2 — амплитуда синхронизирующего сигнала; φ_{CR} — начальная фаза сигнала опорного генератора.

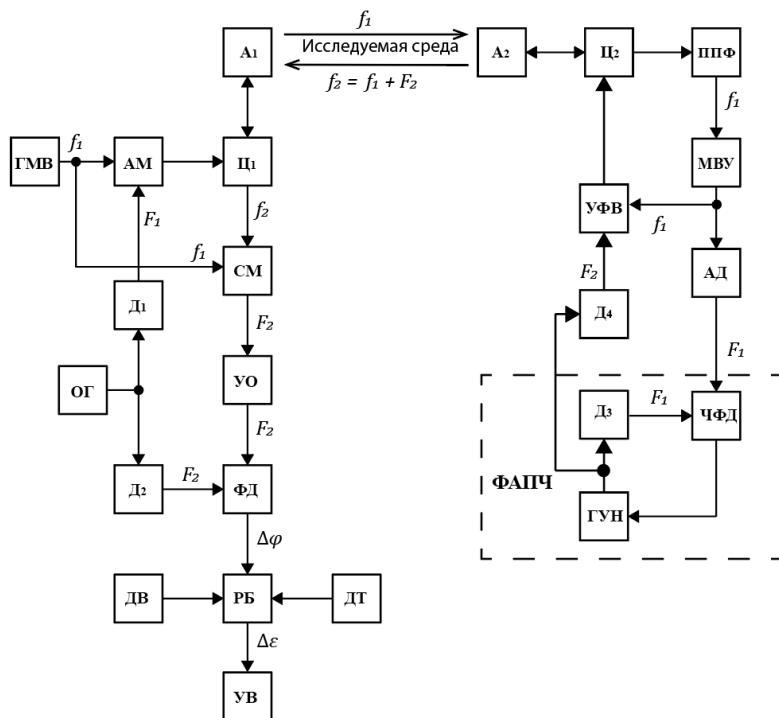


Рис. 1. Структурная схема разработанного устройства.

Fig. 1. The schematic diagram of the developed device

Модулированные микроволновые колебания имеют вид:

$$u_3(t) = U_3 \left[1 + M \cos(2\pi F_1 t + \varphi_{CR} / n) \right] \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1), \quad (3)$$

где $M = U_2 / U_3$ — коэффициент амплитудной модуляции.

Микроволновый сигнал с выхода модулятора через микроволновый Y-циркулятор (Π_1), подают на микроволновую антенну измерительной станции (A_1), которая первично излучает эти микроволновые колебания в направлении микроволновой антенны блока ретранслятора (A_2). При этом микроволновый сигнал приобретает набег фазы $\Delta\varphi$ равный:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi f_1 d \sqrt{\varepsilon}}{c}, \quad (4)$$

где d — длина измерительной трассы, ε — относительная диэлектрическая проницаемость исследуемой газовой среды (воздуха), c — скорость света в вакууме.

Принятый в блоке ретранслятора микроволновый сигнал имеет вид:

$$u_4(t) = U_4 \left[1 + M \cos(2\pi F_1 t + \varphi_{CR} / n) \right] \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1 + \Delta\varphi), \quad (5)$$

где U_4 — амплитуда принятых микроволновых колебаний.

В блоке ретранслятора принятые колебания через микроволновый Y-циркулятор (Π_2) подают на вход полосно-пропускающего фильтра (ППФ), настроенного на частоту f_1 , и далее на вход микроволнового усилителя (МВУ). Усиленный сигнал демодулируют при помощи амплитудного детектора (АД). Полученный таким образом низкочастотный сигнал имеет вид:

$$u_5(t) = U_5 \cos(2\pi F_1 t + \varphi_{CR} / n), \quad (6)$$

в точности повторяющий по частоте и фазе сигнал (2), значение амплитуды сигнала U_5 не принципиально.

Сигнал с частотой F_1 подают на систему фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), состоящую из частотно-фазового детектора (ЧФД), опорного генератора, управляемого напряжением (ГУН) и делителя частоты (D_3). Низкочастотный опорный сигнал с частотой F_2 , формируют путем деления частоты сигнала опорного генератора, управляемого напряжением, при помощи делителя частоты (D_4). Полученный сигнал описывается выражением:

$$u_6(t) = U_6 \cos\left(2\pi \frac{F_{CR}}{m} t + \frac{\varphi_{CR}}{m}\right) = U_6 \cos\left(2\pi F_2 t + \frac{\varphi_{CR}}{m}\right), \quad (7)$$

где m — коэффициент деления делителя частоты D_4 , U_6 — амплитуда опорного сигнала.

После этого сигнал (7) подают на управляющий вход управляемого микроволнового фазовращателя (УФВ), на сигнальный вход которого подают колебания с выхода микроволнового усилителя. В фазовращателе в микроволновый сигнал с частотой f_1 вносят периодический монотонно нарастающий от 0 до 2π (или убывающий) фазовый сдвиг с периодом, равным T_2 . При этом можно говорить о сдвиге спектра микроволновых колебаний на частоту Доплера $F_2 = 1/T_2$. Таким образом осуществляют сдвиг частоты микроволнового сигнала с частотой f_1 на величину, равную частоте F_2 . Трансформированный по частоте микроволновый сигнал с частотой $f_2 = f_1 \pm F_2$ имеет следующий вид

$$u_7(t) = U_7 \left[1 + M \cos(2\pi F_1 t + \varphi_{CR} / n) \right] \cos[2\pi f_2 t + \varphi_1 + \Delta\varphi \pm \varphi_{CR} / m], \quad (8)$$

где U_7 — амплитуда микроволнового сигнала с учетом преобразований.

Сигнал (8) через микроволновый Y-циркулятор (Π_2) подают на микроволновую антенну (A_2), которая вторично излучает этот сигнал в направлении микроволновой антенны (A_1). При этом микроволновый сигнал приобретает набег фазы $\Delta\varphi'$. Так как $F_2 \ll f_1$, то $f_2 = f_1 \pm F_2 \approx f_1$. Следовательно, набег фазы микроволнового сигнала при первом и втором прохождении исследуемой среды будут приблизительно равны $\Delta\varphi' \approx \Delta\varphi$.

Далее принятые микроволновые колебания через микроволновый Y-циркулятор (Π_1) подают на смеситель (СМ), куда также подают исходные микроволновые колебания с частотой f_1 . В смесителе осуществляют гомодинное преобразование частоты. Преобразованный по частоте низкочастотный сигнал описывается следующим выражением:

$$u_8(t) = U_8 \left[1 + M \cos(2\pi F_1 t) \right] \cos(2\pi F_2 t + 2\Delta\varphi + \varphi_{CR} / m), \quad (9)$$

где U_8 — амплитуда низкочастотного сигнала на выходе смесителя.

Этот сигнал усиливают и ограничивают по амплитуде в избирательном усилителе-ограничителе УО, после чего он принимает вид:

$$u_9(t) = U_9 \cos(2\pi F_2 t + 2\Delta\varphi + \varphi_{CR} / m), \quad (10)$$

где U_9 — амплитуда усиленного и ограниченного низкочастотного сигнала.

Этот сигнал подают на вход фазового детектора (ФД), на опорный вход которого подается опорный сигнал с частотой F_2 , полученной путем деления частоты F_{CR} кварцевого опорного генератора (ОГ), сигнал которого описывается следующим выражением:

$$u_{10}(t) = U_{10} \cos\left(2\pi \frac{F_{CR}}{m} t + \frac{\varphi_{CR}}{m}\right) = U_{10} \cos\left(2\pi F_2 t + \frac{\varphi_{CR}}{m}\right), \quad (11)$$

где m — коэффициент деления делителя частоты (D_2).

Таким образом, на выходе фазового детектора (ФД) получают сигнал, пропорциональный разности аргументов сигналов (10) и (11)

$$u_{11}(t) = K \left[2\pi F_2 t + 2\Delta\varphi + \frac{\varphi_{CR}}{m} - 2\pi F_2 t - \frac{\varphi_{CR}}{m} \right] = K 2\Delta\varphi, \quad (12)$$

где K — коэффициент преобразования фазового детектора (ФД). При этом сигнал на выходе фазового детектора пропорционален набегу фазы микроволнового сигнала при его двукратном прохождении измерительной трассы.

После этого сигнал с выхода фазового детектора подают на вход решающего блока (РБ), на второй и третий вход которого подают сигналы, пропорциональные влажности и температуре воздуха. Эти сигналы получают с выходов измерителей влажности (ДВ) и температуры (ДТ). В решающем блоке производят вычитание из сигнала, описываемого выражением (12), значения сигнала с выхода измерителя влажности воздуха с учетом некоторого приведенного коэффициента, который определяется по сигналу с выхода измерителя температуры воздуха. В результате получают сигнал, пропорциональный исключительно изменению содержания вредоносных газов в воздухе.

3. Экспериментальное исследование

По описанной выше структурной схеме была собрана экспериментальная установка (рис. 2) для определения влияния метеорологических характеристик исследуемой среды на изменение фазовых флуктуаций при двукратном прохождении микроволнового сигнала измерительной трассы. Измерения проводились на частоте 9,4 ГГц и трассе прямой видимости протяженностью $d = 150$ м. Установка состояла из измерительной станции и блока ретранслятора (БР). В свою очередь, измерительная станция состояла из внешнего микроволнового блока (ВБ) и блока обработки (БО).

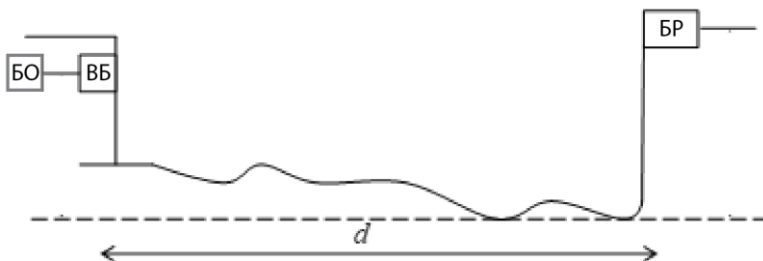


Рис. 2. Схема измерительной трассы.

Fig. 2. The scheme of the measuring link

Синхронно с измерениями набег фазы микроволнового сигнала проводились измерения параметров окружающей среды: влажности и температуры воздуха.

Измерения проводились круглосуточно в течение 10 дней. По оси абсцисс всех графиков откладывалось текущее время в формате чч:мм:сс. На рис. 3.а показаны флуктуации набег фазы микроволнового сигнала, возникающие при его распространении на открытой трассе. Флуктуации

фазы показаны в градусах. На рис. 3.б показаны изменения влажности воздуха, выраженные в процентах. На рис. 3.в показаны изменения температуры воздуха, выраженные в градусах Цельсия.

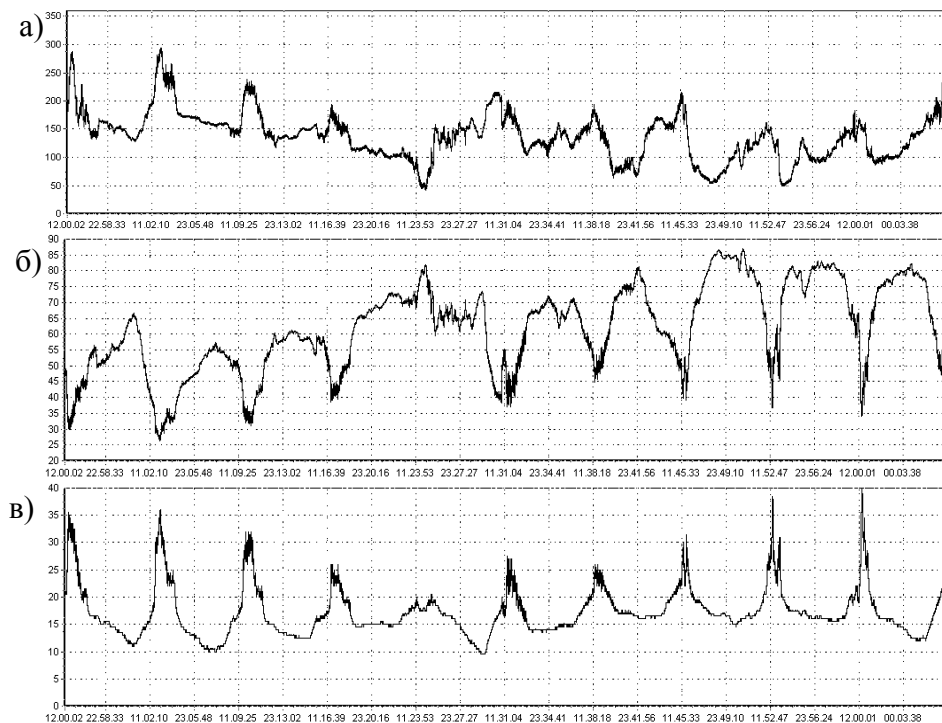


Рис. 3. Десятидневные измерения набег фазы сигнала в зависимости от погодных условий.

Fig. 3. Ten day's measurements of phase progression in relation to weather conditions

Анализ графиков показывает, что изменения набег фазы микроволнового сигнала сильно коррелируют с изменениями влажности и температуры исследуемого воздуха. Для более точного определения изменения состава воздуха полученный сигнал поступал в решающий блок, в котором метеорологическая составляющая вычиталась из показаний фазы принятого сигнала.

Изменения набег фазы до и после вычитания метеорологической составляющей показаны на рис. 4., где по оси ординат показано изменение фазы микроволнового сигнала в градусах при двукратном прохождении измерительной трассы, а по оси абсцисс — время в часах от начала эксперимента (не все 10 суток).

Плавный характер кривой после вычитания метеорологической составляющей указывает на отсутствие вредных газов в воздухе. При этом небольшие фазовые флуктуации устраняются калибровкой решающего блока измерительной станции.

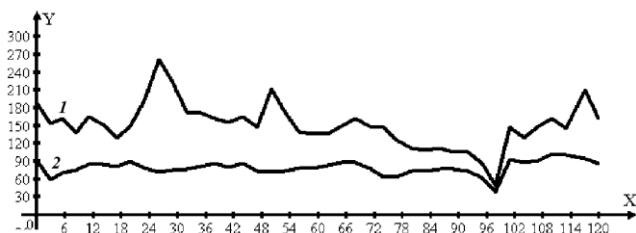


Рис. 4. Изменение набега фазы микроволнового сигнала до (кривая 1) и после (кривая 2) вычитания метеорологической составляющей.

Fig. 4. Change in the phase progression of the microwave signal before (curve 1) and after (curve 2) subtraction of the meteorological component

4. Заключение

В работе описан новый метод мониторинга изменения состава воздушной среды. Суть метода заключается в измерении набега фазы микроволнового сигнала при его двукратном прохождении измерительной трассы для определения изменения диэлектрической проницаемости среды. Для получения объективной оценки изменения содержания вредоносных газов в исследуемом воздухе учитывается влияние погодных условий, а именно изменение влагосодержания и температуры среды. В целях оптимизации радиотракта устройства для измерений и синхронизации опорных генераторов измерительных блоков используется единый микроволновый канал. Устройство на основе рассматриваемого метода качественно отличается от аналогов, присутствующих в настоящее время в области мониторинга газовой среды, обладая высокой скоростью установления показаний и возможностью непрерывного мониторинга состава среды в больших объемах пространства.

Проведено экспериментальное исследование влияния метеорологических характеристик среды на набег фазы микроволнового сигнала. Результаты эксперимента подтвердили теоретические предположения о влиянии паров воды на электродинамические свойства газовой смеси. Следовательно, необходимо учитывать изменения влагосодержания и соответственно температуры среды при проведении фазометрических измерений на открытой трассе.

Стоит отметить, что реализация рассмотренного метода возможна в виде системы мониторинга, состоящей из n -го числа пар измерительных блоков и единого центра мониторинга. Такая система в случае утечки или выброса позволит провести оценочный анализ распространения газа в объеме и определить границы аварийной зоны.

Список литературы

- 1 Липин А. В., Тарасенкова А. С., Помогаев Г. И. Специальная оценка условий труда (СОУТ) в системе трудовых отношений. Москва : Юнитал-М, 2015. 270 с.
- 2 Backhaus C., Mroz A., Willenbrink B. "Coal Mine Gas from Abandoned Mines," Proc. of the IV European Coal Conf., Polish Geological Institute Special Papers, no. 7, 2002, P. 33–40.
- 3 Туричин А. М., Аршанский Б. Э., Зорграф И. А. Электрические измерения неэлектрических величин. Москва : Энергия, 1966. 690 с.
- 4 Li C., Yin Z. Infrared gas sensor // Proc. of the Third International Symp. on Electronic Commerce and Security Workshops, Guangzhou, China, July 29–31, 2010. P. 101–104.
- 5 Anderson G. L., Hadden D. M. The gas monitoring handbook. New York : Avocet Press Inc., 1999. 59 p.
- 6 Shirokov I. B., Shaban S., Experimental Investigations of Amplitude and Phase Progression Fluctuations on Microwave Line-of-Sight Links // IEEE Proc. of Int. Symp. on Geoscience and Remote Sensing (IGARSS'02), Toronto, Canada, June, 24—28 2002. Vol. VI. P. 3559–3560
- 7 Shirokov I. B., Shaban S., Polivkin S., Sinitsyn D. Theoretical Modeling and Experimental Investigations of Amplitude and Phase Progression Fluctuations on Microwave Line-of-Sight Links in Relation with Natural Medium Conditions // IEEE Proc. of Int. Symp. on Geoscience and Remote Sensing (IGARSS'03). Toulouse, France, July 21—25, 2003, Vol. VII. P. 4177–4179.
- 8 Широков И. Б., Широкова Е. И., Евдокимов П. А. Пат. 2735058 (РФ). Способ определения изменения содержания вредоносных газов в воздухе. Опубл. в Б. И., 2020. № 30.

Информация об авторах

Широков Игорь Борисович, профессор Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация.

Евдокимов Павел Алексеевич, студент Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация.

Широкова Елена Игоревна, студентка Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация.

Information about the authors

Igor B. Shirokov, Professor of Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.

Pavel A. Evdokimov, student of Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.

Elena I. Shirokova, student of Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.

УДК 621.396.96

Выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля посадочного радиолокатора¹

¹ Синицын Е. А., ² Фридман Л. Б.

¹ НТЦ АО «Челябинский радиозавод “Полет”»
ул. Курчатова, 9, С-Петербург, 194223, Российская Федерация
esinit@yandex.ru

² ООО «НПК “ТИМ”»
пр. Шаумяна, 4, корп. 1, лит. А, С-Петербург, 195027, Российская Федерация
lenya2002@bk.ru

Получено: 21 декабря 2020 г.

Отрецензировано: 28 декабря 2020 г.

Принято к публикации: 15 января 2021 г.

Аннотация: Рассматриваются особенности построения и использования высоко-частотной выносной аппаратуры юстировки пространственной ориентации осей диаграмм направленности антенн курса и глиссады по азимуту и углу места посадочного радиолокатора (ПРЛ), а также текущего траекторного контроля положения и погрешности измерения координат воздушных судов (ВС), выполняющих посадку в зоне действия ПРЛ. Показано, что доплеровские отражатели и выносные контрольные устройства выносной аппаратуры должны принимать зондирующие сигналы ПРЛ и переотражать их обратно в направлении на ПРЛ для имитации сигналов ВС, находящихся в фиксированных (по дальности и угловым координатам) контрольных точках на заданных (плановых) линиях посадки по курсу и глиссаде. Для приема и переизлучения сигналов ПРЛ с фазовой межпериодной манипуляцией 0/π предлагается вариант построения схемы модуля на рупорной антенне и рпн-диоде. Отмечается, что формирование и использование контрольных точек на линиях посадки по курсу и глиссаде позволяет повысить достоверность и точностные параметры измерения сферических координат ВС в ПРЛ, что создает условия и предпосылки для реализации безоблетной технологии ввода ПРЛ в штатную эксплуатацию.

Ключевые слова: воздушное судно, посадочный радиолокатор, антенна курса, антенна глиссады, выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля, линия посадки, зона действия, взлетно-посадочная полоса, аэродромная зона, приемно-передающая антенна, доплеровский отражатель, выносное контрольное устройство, частота Доплера, зондирующий сигнал, поляризация, канал связи.

¹ Статья является расширенной версией доклада, представленного на 30-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2020 (Севастополь, РФ, 6—12 сентября 2020 г.).

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Синицын Е. А., Фридман Л. Б. Выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля посадочного радиолокатора // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 4. С. 399—408.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Синицын, Е. А. Выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля посадочного радиолокатора // Е. А. Синицын, Л. Б. Фридман // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. — Т. 3, № 4. С. 399—408.

The remote equipment for precision approach radar alignment and trajectory control

E. A. Sinitsin¹ and L. B. Fridman²

¹ STC JSC Chelyabinsk radio plant “Polet”

9, Kurchatova str., S-Petersburg, 194223, Russian Federation

esinit@yandex.ru

² LLC NPK “TIM”

4/1, Shaumyana Ave, S-Petersburg, 195027, Russian Federation

lenya2002@bk.ru

Received: December 21, 2020

Peer-reviewed: December 28, 2020

Accepted: January 15, 2021

Abstract: The features of construction and usage of the high-frequency remote equipment for the spatial orientation adjusting of axes of antenna radiation pattern for the course and the glide path channels of the precision approach radar (PAR) as well as the trajectory control and error measurement of coordinates of aircraft, landing in the area of PAR, are considered. It is shown that Doppler reflectors and remote control devices of remote equipment should receive probing PAR signals and retransmit them back in the direction of the PRL to simulate aircraft signals located in fixed (in range and angular coordinates) control points on the specified (planned) landing lines on the course and glide path. A variant of constructing a module circuit on a horn antenna and pin diode is proposed for receiving and retransmitting the signals with phase shift keying $0/\pi$. It is noted that the formation and usage of control points on the lines of the landing course and glide path improves the accuracy and precision parameters of the spherical coordinates measurement, which creates the conditions and prerequisites for the implementation of no-fly technology for commissioning PAR.

Keywords: aircraft, precision approach radar, course antenna, glide path antenna, remote alignment and trajectory control equipment, landing line, range, runway, airfield zone, receiving and transmitting antenna, Doppler reflector, remote control device, Doppler frequency, sounding signal, polarization, communication channel.

For citation (IEEE): E. A. Sinitsin et al. “The remote equipment for precision approach radar alignment and trajectory control,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 399–408, 2020. (In Russ.).

1. Введение

Посадочные радиолокаторы (ПРЛ) являются одним из основных аэродромных наземных средств управления полетами и посадки воздушных судов (ВС) в ближней аэродромной зоне [1, 2].

Для выполнения юстировки положения диаграмм направленности антенной системы и контроля текущих параметров ПРЛ может использоваться внешняя выносная аппаратура, принимающая высокочастотные (ВЧ) зондирующие сигналы ПРЛ и перотражающая их обратно в направлении на ПРЛ [3].

Предлагаемая ВЧ выносная аппаратура юстировки и траекторного контроля (ВАЮТК) предназначена для приема и направленного переизлучения в сторону ПРЛ ВЧ зондирующих сигналов (ЗС), излучаемых каналами курса и глиссады ПРЛ.

Цель использования ВАЮТК в ПРЛ — юстировка пространственной ориентации осей диаграмм направленности (ДН) антенны курса (АК) и антенны глиссады (АГ) ПРЛ соответственно по азимуту и углу места, а также текущий контроль положения и погрешности измерения угловых координат и наклонной дальности ВС, выполняющих предпосадочное маневрирование в зоне действия ПРЛ и посадку по траектории снижения (линии посадки).

ВАЮТК устанавливаются на удалении (выносе) симметрично относительно ПРЛ вдоль взлетно-посадочной полосы (ВПП) аэродрома на каждом из двух направлений посадки ВС и ориентируются на ПРЛ.

2. Теория

Средства ВАЮТК образуют совместно с приемопередающими трактами ПРЛ радиолокационные каналы связи, в которых активной запрашивающей стороной являются передающие каналы курса с АК и глиссады с АГ ПРЛ, пассивным или активным ответчиком — приемопередающий тракт ВАЮТК, а приемной стороной — приемные каналы курса с АК и глиссады с АГ ПРЛ.

В состав ВАЮТК при расположении одного ПРЛ на аэродроме входят доплеровские отражатели (ДО), предназначенные для юстировки и траекторного контроля положения ВС в азимутальной плоскости, и выносные контрольные устройства (ВКУ) для юстировки и контроля положения ВС как в азимутальной, так и в угломестной плоскостях (рис. 1).

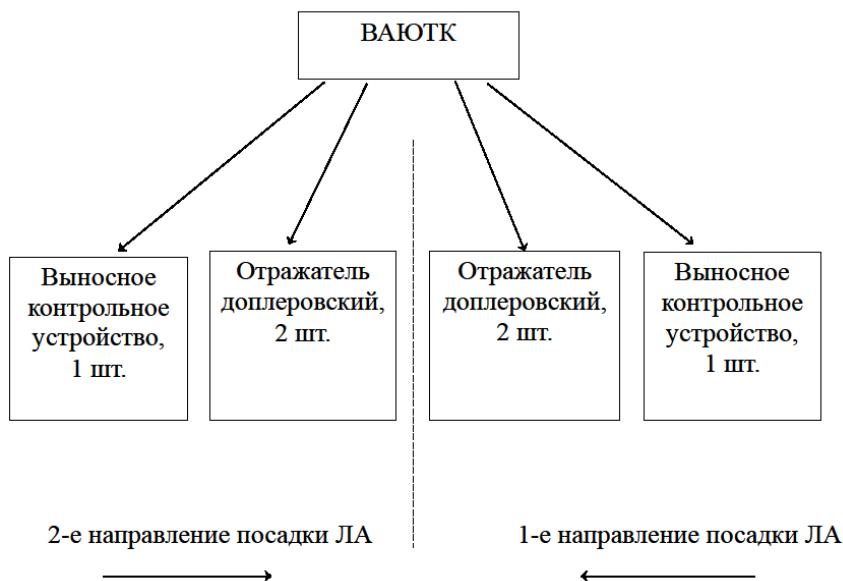


Рис. 1. Состав выносной аппаратуры юстировки и траекторного контроля при расположении посадочного радиолокатора на аэродроме.

Fig. 1. Composition of remote equipment for alignment and trajectory control when the landing radar is located at the airfield

ДО и ВКУ (азимутальный канал) при совместной работе с ПРЛ обеспечивают:

- юстировку положения оси ДН антенны курса ПРЛ по азимуту в горизонтальной плоскости, выполняемую при разворачивании антенной системы ПРЛ на аэродроме и в ходе регламентных проверок курсового канала ПРЛ,

- текущий контроль положения контрольных точек, располагаемых на штатной линии посадки ВС по курсу в ближней зоне, что позволяет выполнять непрерывную проверку величины реальной погрешности измерения азимутальной координаты (азимута) и дальности канала курса ПРЛ, а также проводить оценку текущего положения ВС, идущих на посадку, на линии посадки по курсу на конечном участке посадки в пределах азимутальных углов зоны действия по азимуту ПРЛ ($\pm 17,5$ град.).

Угломестный канал ВКУ обеспечивает:

- юстировку положения оси ДН антенны глиссады ПРЛ по углу места в вертикальной плоскости, выполняемую при разворачивании антенной системы ПРЛ на аэродроме и в ходе регламентных проверок глиссадного канала ПРЛ;

— текущий контроль положения контрольной точки, располагаемой на штатной линии посадки по глиссаде, что позволяет выполнять непрерывную проверку величины реальной погрешности измерения углов места и дальности в ПРЛ, а также проводить оценку текущего положения ВС, идущих на посадку, на линии посадки по глиссаде на конечном участке посадки в пределах зоны действия по углу места ПРЛ (от минус 1 до 8 град.).

В состав ДО входят тренога (высота ~ 3 м), приемо-передающая антенна (ППА) сигналов курсового канала (рупорного типа), обеспечивающая прием и переизлучение ВЧ ЗС ПРЛ, электронный модуль (ЭМ), обеспечивающий изменение начальной фазы переизлучаемых импульсных ВЧ ЗС ПРЛ по курсу, и аккумулятор.

В состав ВКУ входят мачта (высота ~ 7 м), ППА сигналов курсового и глиссадного канала (рупорного типа), ЭМ, обеспечивающий изменение начальной фазы переизлучаемых импульсных ВЧ ЗС ПРЛ по курсу и глиссаде, а также аккумулятор.

Конструктивно ДО и ВКУ имеют несущую вертикальную конструкцию (треногу или мачту), устанавливаемую на неподготовленной площадке земной поверхности аэродрома, на которой располагается малогабаритная направленная антенна (например, рупорная) с электронным модулем, обеспечивающим переотражение входного сигнала с фазовой манипуляцией $0/\pi$ в направлении на ПРЛ.

Эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) несущих конструкций ДО (треноги) и ВКУ (мачты) в обратном направлении на ПРЛ для уменьшения уровня мешающих сигналов должна быть минимальной.

С целью минимизации ЭПР на ПРЛ в ДО и ВКУ выполняется:

— минимизация количества и площади металлических участков конструкции, поверхность которых расположена по нормали к ПРЛ (соосной с оптической осью антенны ДО и ВКУ),

— нанесение на поверхность несущих конструкций в направлении на ПРЛ поглощающих покрытий, уменьшающих отражение мешающих ВЧ сигналов в обратном направлении.

Мешающие сигналы, отраженные от несущих конструкций ДО (тренога) и ВКУ (мачта), имеющие нулевой сдвиг частоты Доплера и принятые приемными каналами курса и глиссады ПРЛ, не должны приводить к ограничению приемных трактов ПРЛ, а также превышать мощность переизлученных полезных сигналов, имеющих фазовый сдвиг $0/180$ град., более чем на 10 дБ.

Конструкция ДО и ВКУ предусматривает возможность механического перемещения антенн по высоте, а также регулировки положения ан-

тени в горизонтальной и угломестной плоскостях на углы в пределах не менее $\pm 5^\circ$ относительно исходных положений на ПРЛ, определяемых выбранным направлением посадки.

В ДО и ВКУ предусматривается установка контрольных горизонтальных площадок, жестко связанных с осями антенн ДО и ВКУ, с обозначенным направлением, соответствующим горизонтальной оси ДН ППА, для установки оптического прицела или квадранта, используемых при горизонтировании и ориентировании антенн ДО и ВКУ на АС ПРЛ.

ДО и ВКУ совместно с курсовым и глиссадным приемопередающими трактами антенной системы ПРЛ обеспечивают формирование и текущую работу следующих радиолокационных каналов связи:

— двунаправленный канал связи «Возбудитель ЗС канала курса ПРЛ — штатная ППА ПРЛ курсового канала — ППА ДО — штатная ППА курсового канала ПРЛ — приемный тракт курсового канала ПРЛ», обеспечивающий прием и формирование в приемном канале курса ПРЛ контрольных сигналов курса, переизлученных ДО;

— двунаправленный канал связи «Возбудитель ЗС канала курса ПРЛ — штатная ППА ПРЛ курсового канала — ППА канала курса ВКУ — штатная ППА курсового канала ПРЛ — приемный тракт курсового канала ПРЛ», обеспечивающий прием и формирование в приемном канале курса ПРЛ контрольных сигналов курса, переизлученных ВКУ;

— двунаправленный канал связи «Возбудитель ЗС канала глиссады ПРЛ — штатная ППА ПРЛ глиссадного канала — ППА канала глиссады ВКУ — штатная ППА глиссадного канала ПРЛ — приемный тракт глиссадного канала ПРЛ», обеспечивающий прием и формирование в приемном канале глиссады ПРЛ контрольных сигналов глиссады, переизлученных ВКУ.

Требуемая номинальная зона действия по дальности при работе с ПРЛ:

— в пределах от ~ 300 до ~ 2000 м для ДО;

— в пределах от ~ 100 до ~ 300 м для ВКУ.

Требуемые номинальные зоны действия ДО и ВКУ при работе с ПРЛ по угловым координатам:

а) по азимуту в пределах от минус ~ 15 до ~ 15 град. относительно нормали к плоскости ППА, ориентированной на ПРЛ;

б) по углу места в пределах от минус 1 до 8 град. относительно местной горизонтальной плоскости.

Электронные модули ДО и ВКУ, формирующие переотражаемые импульсные ВЧ ЗС ПРЛ, обеспечивают изменение начальной фазы принимаемых импульсных ЗС ПРЛ в каналах курса и глиссады по закону $0/180$ град. ± 10 град. с целью имитации доплеровского сдвига частоты от-

раженных импульсных сигналов, а также их переизлучение с поляризацией, подобной поляризации переотражаемых ЗС, или с произвольной линейной поляризацией.

Расположение ДО и ВКУ на аэродроме выполняется таким образом, чтобы при их помощи обеспечивалось формирование нескольких контрольных точек (КТ) на номинальной линии посадки ВС по курсу ($КТ_{Ki}$, где i — номер КТ, $i=1, 2, \dots$), а также на номинальной линии посадки по глиссаде ($КТ_{Гi}$) с наблюдением данных КТ на индикаторе курс — глиссада ПРЛ (рис. 2).

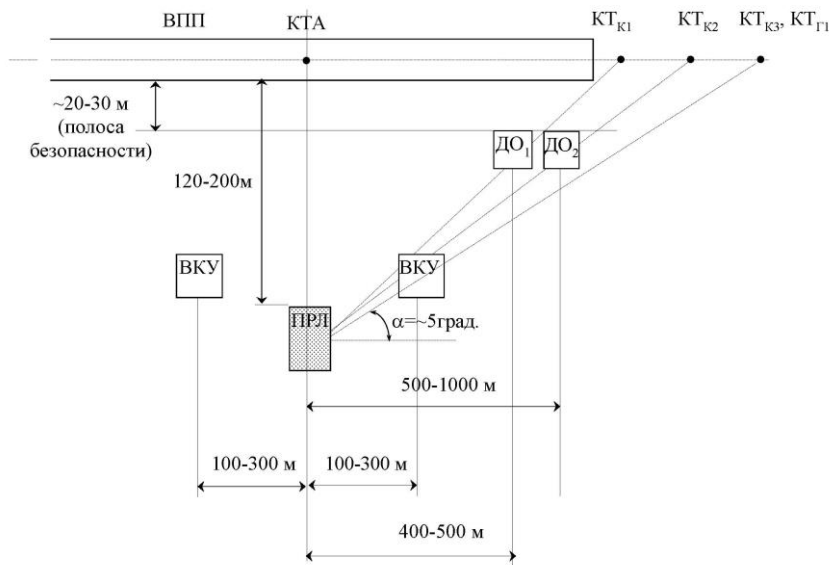


Рис. 2. Расположение средств выносной аппаратуры юстировки и траекторного контроля на аэродроме для формирования контрольных точек на линии курса $КТ_{K1}$, $КТ_{K2}$, $КТ_{K3}$ и на линии глиссады $КТ_{Г1}$ (доплеровские отражатели слева условно не показаны).

Fig. 2. Location of remote equipment for alignment and trajectory control at the aerodrome for the formation of control points on the course line $КТ_{K1}$, $КТ_{K2}$, $КТ_{K3}$ and on the glide path line $КТ_{Г1}$ (Doppler reflectors on the left are conventionally not shown)

Ввиду того, что фазовый центр антенны глиссады (АГ) ПРЛ находится, как правило, на небольшой высоте ($\sim 3,5$ м) относительно земной поверхности, а номинальная линия посадки по глиссаде с началом в точке посадки на ВПП аэродрома имеет угол возвышения от 2 до ~ 4 град., то в целях формирования и наблюдения $КТ_{Г}$ на линии глиссады размер мачты ВКУ по высоте должен быть не менее 7 м, а ВКУ располагается относительно ПРЛ на максимально близком расстоянии, обычно от 100 до 200 м (рис. 3).

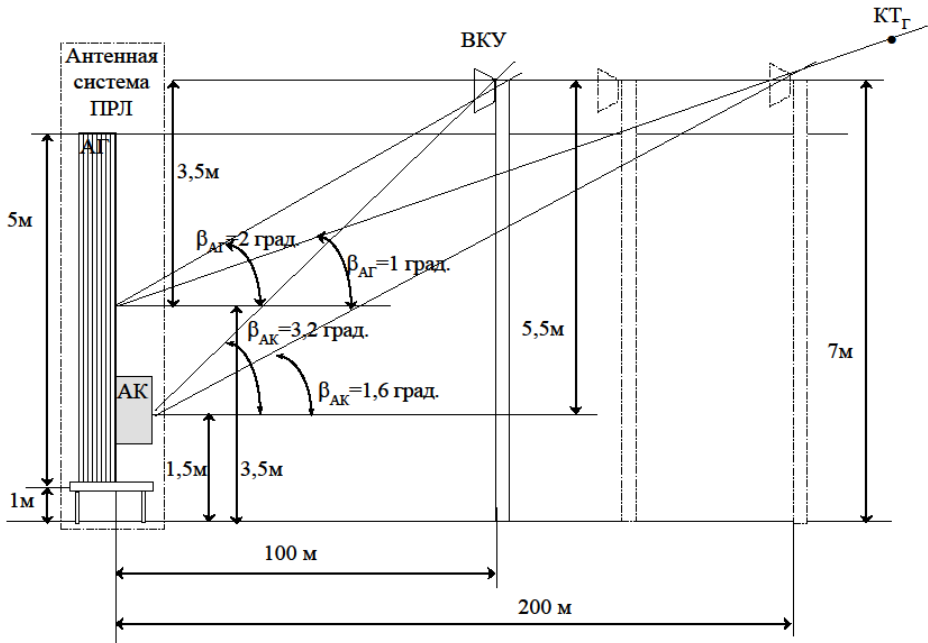


Рис. 3. Варианты расположения выносного контрольного устройства (ВКУ) относительно антенной системы посадочного радиолокатора (ПРЛ) по дальности и пределы углов наблюдения антенной курса (АК) и антенной глиссады (АГ) контрольной точки глиссады снижения (КТ_Г) и антенны ВКУ в вертикальной плоскости.

Fig. 3. Variants of the location of the remote control device (ВКУ) relative to the antenna system of the landing radar (ПРЛ) in range and the limits of the observation angles of the antenna heading (АК) and antenna glide path (АГ) of the control point of the descent glide path (КТ_Г) and the ВКУ antenna in the vertical plane

Для приема и переизлучения ВЧ импульсных периодических ЗС ПРЛ с фазовой межпериодной манипуляцией $0/\pi$ предлагается вариант построения схемы модуля на рупорной антенне и pin-диоде VD1, который при помощи устройства управления периодически открывается и закрывается с целью переотражения сигналов от диода, например, с фазой φ_2 , или от участка короткого замыкания (КЗ) с фазой $\varphi_2 + \pi$ (рис. 4). Переизлучение реализуется благодаря поочередному переотражению входных ВЧ импульсов либо от открытого pin-диода VD1 (переизлучение с фазой φ_2) путем подачи напряжения $U_1 = U_0$, либо от участка КЗ с общей задержкой, равной половине длины волны $\lambda/2$, в прямом и обратном направлениях (переизлучение с фазой $\varphi_2 + \pi$) при запортом диоде VD1 путем выключения напряжения U_1 ($U_1 = 0$).

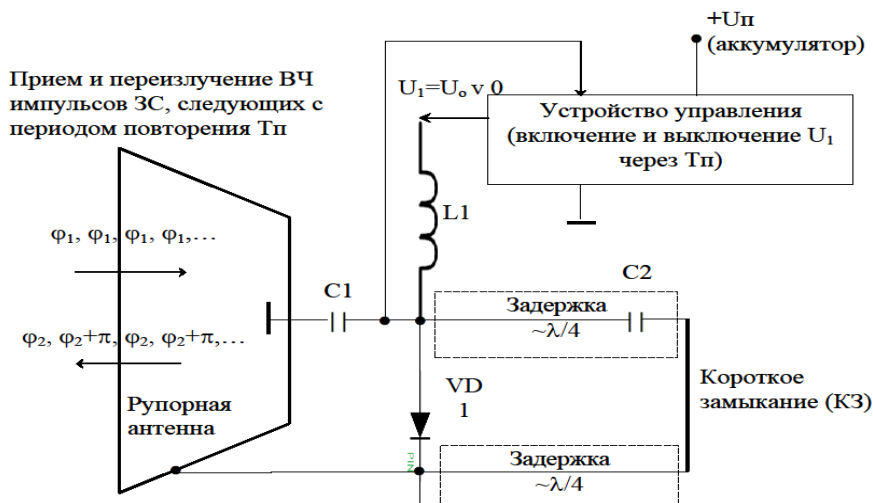


Рис. 4. Модуль приема и переизлучения последовательности ВЧ периодических импульсных сигналов с фазовой межпериодной манипуляцией $0/\pi$ на pin диоде VD1.

Fig. 4. Module for receiving and re-emitting a sequence of HF periodic pulse signals with phase inter-period shift keying $0/\pi$ on a pin diode VD1

Рекомендуемый тип pin-диода VD1 — GC4712 или GC4750 из семейства GC4700, работающих на частотах вплоть до Ku диапазона (18 ГГц) с возможностью его установки непосредственно в волноводную часть рупорной антенны².

3. Основные выводы

1. Для выполнения в ПРЛ, обеспечивающих управление полетами ВС в ближней аэродромной зоне и посадку ВС, требований высокоточного измерения сферических координат ВС, в состав ПРЛ необходимо включить для текущего штатного использования на аэродроме выносную аппаратуру юстировки и траекторного контроля (ВАЮТК) положения ВС на линиях посадки по курсу и глиссаде снижения.

2. ДО и ВКУ, входящие в состав ВАЮТК, должны принимать зондирующие сигналы ПРЛ и переотражать их обратно в направлении на ПРЛ для имитации радиолокационных сигналов неподвижных целей или перемещающихся ВС, находящихся в фиксированных (по дальности и угловым координатам) контрольных точках на заданных (плановых) линиях посадки по курсу и глиссаде.

² Microsemi Microwave Products. Control Devices – Limiters Diodes GC4701 – GC4750.

3. Предложены варианты расположения двух ДО и одного ВКУ (для каждого направления посадки) относительно антенной системы ПРЛ и взлетно-посадочной полосы аэродрома, а также вариант реализации модуля приема и переизлучения последовательности ВЧ периодических импульсных сигналов с фазовой межпериодной манипуляцией $0/\pi$.

4. Увеличение количества используемых ДО и ВКУ и соответственно контрольных точек на линиях посадки по курсу и глиссаде позволяет повысить достоверность и точностные параметры сферических координат ВС, что создает условия и предпосылки для реализации безоблетной технологии ввода ПРЛ в штатную эксплуатацию.

Список литературы

- 1 Лушников А. С. Наземные радиоэлектронные средства обеспечения полетов воздушных судов : Учебное пособие. Ульяновск : УВАУ ГА, 2001. 46 с.
- 2 Большаков Ю. П., Нечаев Е. Е. Посадочные радиолокаторы гражданской авиации и тенденции развития техники их построения // Научный вестник МГТУ ГА, сер. Радиофизика и радиотехника. 2012. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/posadochnye-radiolokatory-grazhdanskoy-aviatsii-i-tendentsii-razvitiya-tehniki-ih-postroeniya/viewer> (дата обращения 15.12.2020).
- 3 Волков С. И., Каргапольцев А. А., Курилов Н. Н. Радиолокационная система посадки РСР-6М2 : Учебное пособие / ГОУ ВПО МГИ РЭА (ТУ). М. : 2010. 153 с.

Информация об авторах

Фридман Леонид Борисович, главный специалист ООО «НПК “ТИМ”», д. т. н., г. С-Петербург, Российская Федерация.

Синицын Евгений Александрович, заместитель начальника Научно-технического центра АО «Челябинский радиозавод “Полет”», д. т. н., проф., г. С-Петербург, Российская Федерация.

Information about the authors

Leonid B. Fridman, head specialist of LLC NPK “TIM”, doctor of science, S-Petersburg, Russian Federation.

Eugeny A. Sinitsin, deputy head of the scientific and technical center of JSC “Chelyabinsk radio plant Polet”, doctor of science, professor, S-Petersburg, Russian Federation.

УДК 621.396.1

Базовые станции и абонентское оборудование 5G: анализ технических требований к ЭКБ¹

Филиппов И. Ф.

Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация
IFFilippov@sevsu.ru

Получено: 1 марта 2021 г.

Отрецензировано: 9 марта 2021 г.

Принято к публикации: 10 марта 2021 г.

Аннотация: В статье представлен краткий обзор современного состояния и перспектив развития телекоммуникационных сетей пятого поколения (5G). Проанализированы ключевые характеристики стандарта и технологии 5G. Проведен обзор сценариев применения и оказания услуг мобильной связи в сетях 5G. Рассмотрены архитектура и основные технические требования к оборудованию базовых и абонентских станций 5G, представленные в технических спецификациях 3GPP. Приведены результаты краткого аналитического обзора современного состояния технологий и разработок в области электронной компонентной базы (ЭКБ) сетей мобильной связи 5G в мире и в России. Сформулированы общие требования к ЭКБ радиоэлектронного оборудования для данных приложений.

Ключевые слова: 3GPP, 5G, базовая станция, абонентское оборудование, ЭКБ.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Филиппов И. Ф. Базовые и абонентские станции 5G : анализ технических требований к ЭКБ // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 4. С. 409—423.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Филиппов, И. Ф. Базовые и абонентские станции 5G : анализ технических требований к ЭКБ / И. Ф. Филиппов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 4. — С. 409—423.

¹ Статья является расширенной версией доклада, представленного на 30-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2020 (Севастополь, РФ, 6—12 сентября 2020 г.).

5G base stations and user equipment: analysis of technical requirements for electronic components

I. F. Filippov

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

IFFilippov@sevsu.ru

Received: March 1, 2021

Peer-reviewed: March 9, 2021

Accepted: March 10, 2021

Abstract: *The article presents a brief overview of the fifth-generation (5G) telecommunication networks' current state and development perspectives. The key characteristics of the 5G standard and technology are analyzed. An overview of application and provision scenarios of mobile communication services in 5G networks is carried out. The architecture and basic technical requirements for the 5G base and user station's equipment, presented in the 3GPP technical specifications, are considered. The outcome of the brief analytical review of the technologies and developments current state in the field of electronic components base for 5G mobile communication networks in the world and Russia are presented. General requirements for electronic components of radio electronics equipment for these applications are formulated.*

Keywords: 3GPP, 5G, base station, user equipment, electronic components

For citation (IEEE): I. F. Filippov "5G base stations and user equipment: analysis of technical requirements for electronic components," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 409–423, 2020. (In Russ.).

1. Введение

В настоящее время человечество столкнулось с глобальными вызовами, связанными с четвертой промышленной революцией («Индустрией 4.0») и третьей волной цифровой трансформации. Причиной этого является стремительное развитие сфер информационно-телекоммуникационных технологий и систем с искусственным интеллектом. Ключевыми технологиями «Индустрии 4.0» являются: интернет вещей (англ. internet of things, IoT); виртуальная и дополненная реальности (англ. virtual reality, VR и augmented reality, AR соответственно); большие данные (англ. big data). Телекоммуникационной основой этих технологий являются системы мобильной связи четвертого поколения (англ. fourth generation, 4G) и но-

вые активно развивающиеся системы пятого поколения (англ. fifth generation, 5G).

Технология 5G являются ключевой на ближайшие 5—10 лет. Ее задача — обеспечить сверхбыструю, сверхнадежную, мобильную связь с низкими задержками, способную справиться с непрерывно нарастающими требованиями к передаче данных со стороны мирового бизнеса и рядовых пользователей.

Стандартизацию технологии 5G осуществляют крупнейшие мировые телекоммуникационные организации:

- Международный союз электросвязи (МСЭ, англ. International Telecommunication Union, ITU);
- Консорциум 3GPP;
- Европейский институт телекоммуникационных стандартов (англ. European Telecommunications Standards Institute, ETSI);
- Консорциум 5G PPP.

Подразделениями радиосвязи и стандартизации МСЭ были изучены перспективы сетей подвижной связи пятого поколения. Закончив исследования, оперативная группа IMT-2020 подразделения стандартизации МСЭ сформулировала и приняла концепцию систем связи 5G, которую опубликовала в [1]. К началу 2017 г. оперативной группой IMT-2020 был подготовлен список рекомендаций и технических отчетов [2], которые определили развернутые требования к архитектуре сетей 5G.

Консорциум 3GPP начал работу над спецификацией к технологии радиодоступа сетей пятого поколения 5G-New Radio (5G-NR) в 2015 г., и согласно план-графику работы по стандартизации завершил первые два этапа развития (Релизы 15 и 16) к концу 2020 г. (рис. 1) [3]. Спецификации 3GPP, прежде всего, ориентированы на компании, занимающиеся разработкой и производством телекоммуникационного оборудования. Основная цель — обеспечить кратчайшие сроки запуска в коммерческую эксплуатацию первых сетей 5G [4].

В рамках релизов 15 и 16 3GPP установила технические и ЭМС-характеристики радиооборудования сетей 5G исходя из реализуемости этих требований и необходимости последующего тестирования оборудования 5G на соответствие сертификационными центрами. Релиз 17 предлагает новые сценарии использования мобильной связи. 5G-NR тип машинных коммуникаций будет дополнен новым типом устройств «NR Light», специально предназначенных для поддержки промышленных беспроводных сенсорных сетей. Приоритетом будет являться снижение энергопотребления и повышения автономности устройств. Развитие в рамках

релиза 17 получают алгоритмы работы систем MIMO, IAB и др. Будет стандартизирована работа 5G-NR на частотах выше 52 ГГц [5].

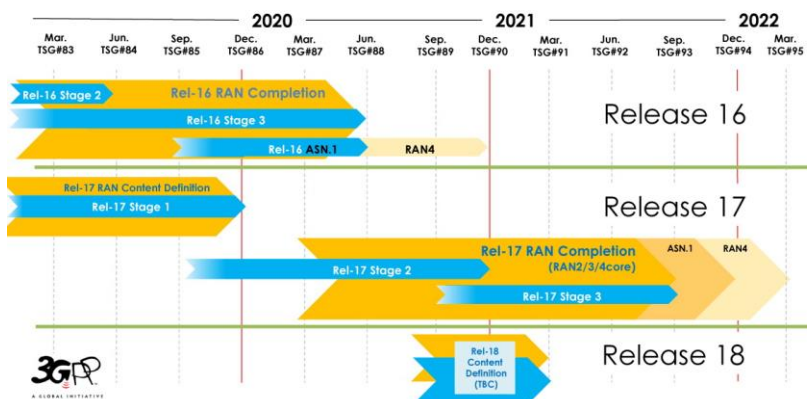


Рис. 1. План-график стандартизации 5G Консорциумом 3GPP на 2020—2022 г.

Fig. 1. 3GPP 5G Standardization Schedule for 2020–2022

Развитие систем мобильной связи 5G является одним из приоритетных направлений при создании новой, конкурентоспособной национальной экономики. Технологии 5G рассматриваются не только в качестве технического достижения телекоммуникационной отрасли, но и как важное условие для формирования цифровой экономики и стимулирования трансформации других отраслей. Ключевым фактором успешного запуска и эксплуатации сетей связи 5G является наличие комплексного государственного плана их создания и развития. В России разработан и утвержден паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [6], в рамках которой определены основные задачи по развитию инфраструктуры мобильной и спутниковой связи нового поколения и созданию инструментов планирования развития сетей связи и стимулирования отрасли связи сроками до конца 2024 г.

2. Характеристики и сценарии применения систем связи стандарта 5G

2.1. Ключевые характеристики технологии 5G

Спецификации 3GPP разработаны представителями телекоммуникационных институтов и компаний для решения широкого круга задач, каждая из которых обладает своей спецификой.

Спецификация TR 38.913 консорциума 3GPP [7] утвердила ключевые характеристики сервисов, предоставляемых сетями 5G:

— пиковые скорости передачи данных на линиях вниз (англ. downlink) и вверх (англ. uplink) — 20 Гбит/с (при спектральной эффективности, равной 30 бит/с/Гц) и 10 Гбит/с (при спектральной эффективности равной 15 бит/с/Гц) соответственно;

— задержки для сценариев сверхнадежной связи — 0,5 мс, для сервисов широкополосной связи — 4 мс;

— плотность подключения к сети абонентских устройств в городских условиях порядка 1 млн устройств/км²;

— автономность работы устройств до 10 лет;

— поддержка связи при передвижении объектов со скоростью до 500 км/ч.

Спецификация TS 38.211 [8] определяет рабочие диапазоны радиочастот для 5G:

— FR1 — частоты до 6 ГГц (англ. sub-6 GHz frequency bands);

— FR2 — частоты выше 6 ГГц (англ. mmWave frequency bands).

Диапазон FR1, в зависимости от используемого разнеса радиочастот поднесущих, предполагает ширину одного радиоканала до 100 МГц. Диапазон FR2 — до 400 МГц. Применение агрегации частот позволит достигнуть ширины спектра 2 ГГц и более.

Большое внимание в стандарте уделено технологиям формирования луча (англ. beamforming) и MIMO (англ. multiple input multiple output). Антенные системы с динамическим формированием луча диаграммы направленности (ДН) позволяют разделить зону покрытия телекоммуникационных сетей, увеличив эффективность использования спектра и количество каналов. Технология Massive MIMO, в которой количество абонентских терминалов намного меньше, чем количество антенных элементов базовой станции (БС), является одной из ключевых при реализации систем мобильной связи 5G. Контроль фазы и амплитуды выходных сигналов позволяет динамически формировать множество лучей ДН в направлениях конкретных абонентов сети, обеспечить высокое отношение сигнал/шум на входе приемников, исключить влияние интерференции между сотами, значительно увеличить число каналов связи.

Технология излучения опорного сигнала (англ. sounding reference signal, SRS) дополняет технологию beamforming и позволяет БС отслеживать характеристики канала связи при получении специального пакета, принимаемого от абонентского оборудования (АО, англ. user equipment, UE).

Технология сетевой нарезки (англ. network slicing) позволяет разворачивать изолированные друг от друга сети, каждая из которых будет обладать набором индивидуальных характеристик. Так, для IoT будет воз-

можно обеспечить максимально широкую зону покрытия, для мобильной связи в общественном транспорте — широкую полосу и низкое значение времени задержки (отклика).

2.2. Сценарии применения технологии 5G

Стандарт 5G предполагает различные сценарии оказания услуг подвижной связи. Все они удовлетворяют тому или иному набору характеристик сети и нацелены на решение задач определенного направления рынка телекоммуникационных услуг. Спецификациями консорциума 3GPP [7] определены три сценария:

- сверхширокополосная мобильная связь (англ. enhanced mobile broadband, eMBB);

- сверхнадежная связь с низкими задержками (англ. ultra-reliable low latency communication, URLLC);

- массовая межмашинная связь (англ. massive machine-type communications, mMTC).

Сценарий eMBB актуален для действующих и перспективных приложений сервисов передачи потокового видео разрешений 4K и 8K.

Помимо этого, ключевым продуктом на ранних этапах развития сетей 5G должен стать сервис Sky Office. Его концепция предполагает перенос вычислительных мощностей ноутбуков, оснащенных 5G-модемом, в облачные сервисы. При этом абонент получит преимущества высокой автономности, безопасности данных в случае утраты устройства, отсутствия необходимости загрузки программного обеспечения, снижения массогабаритных параметров устройств.

Более того, новый импульс к развитию получают технологии VR и AR. Данные технологии смогут выйти за рамки игровой индустрии и найдут применение в образовании, медицине и промышленности.

Сценарий работы мобильных сетей 5G URLLC позволит реализовать концепцию «тактильного интернета» (ТИ). С помощью ТИ возможно будет учить (рисование, игра на музыкальных инструментах), удаленно проводить ответственные хирургические манипуляции и операции. На принципиально новый уровень смогут выйти сферы интернет-торговли, туристического бизнеса и музейного дела, игровая индустрия.

Низкий уровень задержек и массовость подключения являются приоритетными в отрасли разработки и применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Ответственными регулирующими органами в большом числе стран уже сейчас проводятся работы по стандартизации и обеспечению безопасности полетов БПЛА. Дроны-курьеры, спасатели,

пожарные, дроны для агротехнического комплекса в перспективе найдут применение на глобальном рынке.

Перспективным в рамках сценария URLLC является концепция беспилотного вождения C-V2X (англ. cellular vehicle to everything). Она предполагает передачу информации между транспортным средством (ТС) и любым «умным» объектом, который может повлиять на данное ТС. Данный подход позволяет обеспечивать коммуникацию с другими ТС (англ. vehicle to vehicle, V2V), инфраструктурой (англ. vehicle to infrastructure, V2I), сетями связи (англ. vehicle to network, V2N), электросетями (англ. vehicle to grid, V2G), пешеходами (англ. vehicle to pedestrian, V2P) и даже «умными» домами (англ. vehicle to house, V2H).

Сценарий mMTC предполагает автоматизацию процессов межмашинного взаимодействия. Рынок устройств mMTC включает счетчики потребления ресурсов, контроллеры освещения, весь спектр датчиков и других IoT-устройств. Для подобных приложений приоритетна автономность, а сеть должна работать с огромным числом подключений.

3. Технические требования к базовым и абонентским станциям сетей мобильной связи 5G

Спецификации, разрабатываемые консорциумом 3GPP, являются базовыми документами для всех компаний-разработчиков оборудования совместимого с технологией 5G. Анализ представленных в них сведений об архитектуре, технических параметрах БС и АО сетей 5G позволяет сформулировать требования к перспективной ЭКБ. Ключевыми компонентами разрабатываемого оборудования являются приемопередающие модули различных частотных диапазонов и их компоненты, сигнальные процессоры, цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи (ЦАП и АЦП), антенны, в том числе адаптивные антенные решетки.

Архитектура сетей 5G (NG-RAN) приведена в спецификации TS 38.300 [9] (рис. 2). В основе NG-RAN лежат два типа БС: gNB пятого поколения и ng-eNB поколения 4GPro. Базовые станции NG-RAN соединены между собой при помощи Xn интерфейса. Взаимодействие с базовой сетью (англ. 5G core, 5GC) осуществляется при помощи NG-интерфейса.

Базовые станции gNB могут использовать 38 поддиапазонов в диапазоне частот от 0,41 до 7,125 ГГц (FR1) и 4 поддиапазона от 24,25 до 52,6 ГГц (FR2). Спецификации 3GPP определяют четыре типа БС: 1-С, 1-Н, 1-О, 2-О. Разделение произведено на основании диапазонов рабочих частот, конструктивных особенностей (компоновки функциональных блоков БС и антенн), зон обслуживания.

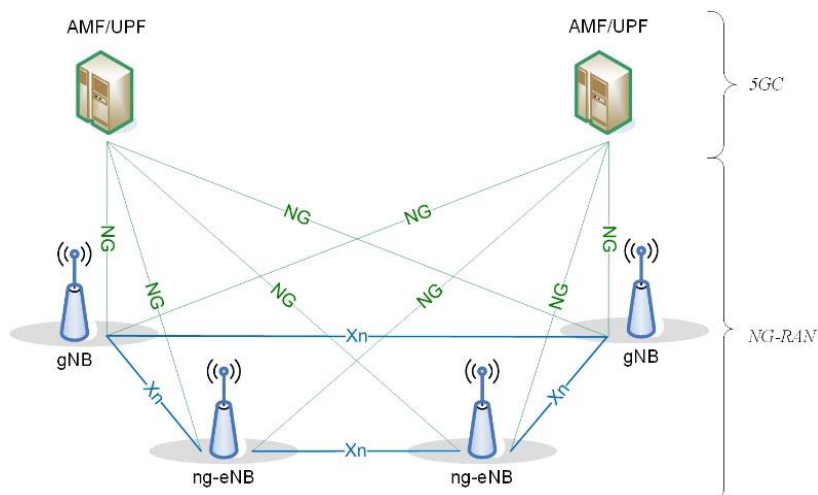


Рис. 2. Архитектура NG-RAN.

Fig. 2. NG-RAN architecture

Требования к характеристикам БС 5G представлены в спецификациях TS 38.104 [10] и TS 38.817-02 [11]. Анализ данных характеристик позволяет определить требования к характеристикам их функциональных блоков. Значение выходной мощности передатчиков различных типов БС (табл. 1) непосредственно связаны с характеристиками усилительных каскадов и антенн БС.

Таблица 1. Мощностные характеристики БС 5G

Table 1. Power characteristics of the 5G base stations

Зона обслуживания	Мощность передатчиков базовых станций gNB сетей радиодоступа 5G, дБм		Уровни ограничения ACLR БС, дБм/МГц
	БС типа 1-С	БС типа 1-Н	
Широкая	Без ограничений сверху	Без ограничений сверху	–15
Средняя	<38	$\leq 38 + 10\log(N_{\text{TXU, counted}})$	–25
Локальная	<24	$\leq 24 + 10\log(N_{\text{TXU, counted}})$	–32

Коэффициент ACLR показывает утечку мощности соседнего канала и представляет собой отношение отфильтрованной средней мощности на заданной частоте канала к отфильтрованной мощности на частоте соседнего канала. $N_{\text{TXU, counted}}$ — число активных передатчиков системе.

Минимальный динамический диапазон регулировки мощности БС 1-С и 1-Н на линии вниз для каждой несущей должен быть больше или равен уровню, указанному в табл. 2.

Таблица 2. Динамический диапазон регулировки мощности БС
 Table 2. 1-C, 1-H base station total power dynamic range

Ширина канала, МГц	Динамический диапазон мощности, дБ		
	15 кГц поднесущая	30 кГц поднесущая	60 кГц поднесущая
5	13,9	10,4	—
10	17,1	13,8	10,4
15	18,9	15,7	12,5
20	20,2	17	13,8
25	21,2	18,1	14,9
30	22	18,9	15,7
40	23,3	20,2	17
50	24,3	21,2	18,1
60	—	22	18,9
70	—	22,7	19,6
80	—	23,3	20,2
90	—	23,8	20,8
100	—	24,3	21,3

Требования к мощности при выключенном передатчике применимы только к работе БС в дуплексном режиме с временным разделением. Для БС типа 1-C и 1-H требования к спектральной плотности мощности в выключенном состоянии передатчика должны быть менее -85 дБм/МГц на антенный разъем.

Общие требования к характеристикам абонентских станций определены в спецификациях TS 38.101-1, 2, 3, 4, TS 38.817-01, [12—16].

Так, например, в спецификации TS 38.817-01 приведены значения выходной мощности передатчиков АО 5G класса 2 и 3, работающих в наиболее перспективных частотных поддиапазонах до 6 ГГц (табл. 3).

Таблица 3. Мощностные характеристики АО 5G диапазона до 6 ГГц
 Table 3. Power characteristics of the 5G sub-6 GHz user equipment

Частотный диапазон, ГГц	Выходная мощность, дБм		Примечание
	Класс 2	Класс 3	
3,3—3,8	26 +2/-3	23 +2/-3	n78
4,4—5			n79

Минимальная выходная мощность АО, работающего с шириной канала до 100 МГц составляет -33 дБм.

Частотные каналы БС и АО состоят из определенного числа радиоблоков, формируемых из поднесущих с шириной 15 кГц, 30 кГц и 60 кГц для FR1 и 60 кГц и 120 кГц для FR2.

Конфигурация радиоблоков при формировании частотных каналов БС и АО для различных разносов поднесущих представлена в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Максимальная конфигурация радиоблоков NRB при формировании частотных каналов БС и АО поддиапазона FR1

Table 4. Maximum configuration of the NRB radio blocks when forming frequency channels of the FR1-band base stations and user equipment

Разнос под- несущих, кГц	Ширина полосы частотного канала 5G для поддиапазона FR1, МГц									
	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
	Конфигурация радиоблоков для полосы канала передачи									
15	52	79	106	133	160	216	270	—	—	—
30	24	38	51	65	78	106	133	162	217	273
60	11	18	24	31	38	51	65	79	107	135

Таблица 5. Максимальная конфигурация радиоблоков NRB при формировании частотных каналов БС и АО поддиапазона FR2

Table 5. Maximum configuration of the NRB radio blocks when forming frequency channels of the FR2-band base stations and user equipment

Разнос между поднесущими в ресурсном радиоблоке, кГц	Ширина полосы частотного канала 5G для поддиапазона FR2, МГц			
	50	100	200	400
	Конфигурация радиоблоков для полосы канала передачи			
60	66	132	264	—
120	32	66	132	264

Анализ табл. 3 и 4 показывает, что в диапазоне рабочих частот до 6 ГГц полосы частот близки к ширине агрегированных полос частот стандарта 4G/LTE. При этом в диапазоне mmWave используются полосы с шириной 200 МГц и 400 МГц. Для построения сигнала 5G могут быть использованы 264 радиоблока для FR2 и 273 радиоблока для FR1.

Для задания требований к АЦП и ЦАП сигнальных процессоров БС и АО возможно использовать следующий подход.

Так следует учитывать общее количество временных отсчетов в полезном OFDM-символе (не более 131072) и количество дискретных временных отсчетов расширенного циклического префикса (32768).

Таким образом, сигнал максимальной длительности будет содержать 163840 дискретных временных отсчетов, а разрядность АЦП должна быть не менее 18 бит.

Базисный временной интервал сети NG-RAN (0,5086 нс) определяет частоту дискретизации ЦАП или АЦП (2 ГГц).

4. Краткий анализ современного состояния и перспектив развития технологий и ЭКБ телекоммуникационных сетей 5G

В табл. 6 представлены компании-лидеры в области стандартизации 5G и патентования изобретений в данной отрасли на конец 2020 г. [17]. Наибольшее число патентных заявок принадлежит компаниям Huawei Technologies и Samsung Electronics. Их высокая активность в области патентования позволяет обеспечить своим патентам статус базовых, входящих в стандарты для технологии 5G [18].

Таблица 6 Компании-лидеры по патентованию и количеству вкладов в стандарт 5G

Table 6. Leading companies in patenting and contribution to the 5G standard

Компания	Кол-во заявок на патенты в области технологии 5G	Кол-во зарегистрированных патентов (на конец 2020 г.)	Кол-во одобренных предложений в спецификации 5G (на начало 2020 г.)
Huawei Technologies	6372	2993	5855
Qualcomm	4590	2323	1994
Samsung Electronics	4052	2628	1239
Nokia	2690	1963	3804
LG Electronics	2666	1663	685
ZTE Corporation	2665	555	1188
Ericsson	1838	948	5114
Sharp	1539	967	—
Intel Corporation	998	200	962

Разработки мировых производителей телекоммуникационного оборудования часто имеют характер частных решений на пути к коммерческой реализации сетей 5G. Это объясняется тем, что стандарт непрерывно развивается, а разработанные технические спецификации не являются исчерпывающими в части окончательного облика оборудования [19].

Правительственной комиссией по цифровому развитию России утверждена дорожная карта развития мобильных сетей связи 5G [20]. Ответственными исполнителями дорожной карты являются: ГК Ростех — в части создания оборудования связи 5G, ПАО «Ростелеком» — в части построения сетей связи 5G и развития сервисов на их основе.

Осенью 2020 г. ГК Ростех представила макет БС 5G, разработанный отечественными специалистами при участии НПК «Криптонит» [21]. В состав макета входит радиопередающий модуль, модуль цифровой обработки сигналов (ЦОС) и ядро мобильной сети. БС работает в режиме Stand Alone.

Основой отечественных систем 5G может стать оборудование и ЭКБ, перечисленные в Едином реестре российской радиоэлектронной продукции [22]. В число поставщиков входят российские компании: ЭЛТЕКС, концерн «Созвездие», ОАО «Глобалинформсервис», НПФ «Микран», АО «Ангстрем», ПАО «Микрон», АО «МЦСТ», АО «ПКК Миландр», АО «Байкал электроникс» [23].

Опытом разработки модулей связи предыдущих поколений (2G и 3G) обладает АО НИИМА «Прогресс» [24]. Помимо этого, в списке разработок представлены аналоговые микросхемы приемопередающего тракта K5200MX014, K1917BC014, предназначенные для применения в аппаратуре БС и АО локальной системы навигации. Отдельно K5200MX014 может применяться как основа аналогового тракта в аппаратуре для приема и передачи сигналов в диапазоне частот 0,1—2,5 ГГц и шириной спектра полезного сигнала 50 кГц или 1,25—2,5 МГц. Однако узкая полоса и входящие в состав 8-битные АЦП ограничивают применение данной ИМС в системах связи будущих поколений.

Российским АО «ПКК Миландр» разработана линейка микросхем ЦАП и АЦП разрядностью до 20 бит, высокопроизводительные процессоры ЦОС, ряд радиочастотных микросхем: узкополосный приемник, формирователь модулирующего сигнала, синтезаторы частоты, в том числе с дробным коэффициентом деления и встроенным генератором, управляемым напряжением [25].

В списке разработок АО НПЦ «Элвис» представлена микросхема цифровой части четырехканального SDR-приемника 1288XK1T с частотой дискретизацией входного сигнала до 100 Мвыб/с на каждый канал и возможностью синхронизации до восьми микросхем для построения программно-перенастраиваемых фазированных и адаптивных антенных решеток [26]. В состав микросхемы не входят АЦП, что с одной стороны делает данный приемник более универсальным, а с другой стороны — снижает интеграцию и усложняет его применение.

ЗАО НТЦ «Модуль» осуществляет разработку и выпуск процессоров ЦОС [27]. В 2013 г. был выпущен цифровой программный приемник 1879BЯ1Я с двумя 64-разрядными цифровыми сигнальными процессорами, 32-битным процессором ARM1176JZF-S и системой перестраиваемых

комплексных фильтров. В состав микросхемы входят четыре 12-битных АЦП с частотой дискретизации 82 МГц.

Технологической основой отечественных разработок в области ЭКБ систем связи 5G могут стать мощности ПАО «Микрон» (90 нм, 180 нм КМОП, 180 нм и 250 нм КНИ технологические процессы), АО «Ангстрем» (0,6 мкм КМОП, БиКМОП, КНИ техпроцессы), АО «НИИЭТ» (GaN силовые транзисторы).

Анализ уровня имеющихся разработок показывает, что на данный момент в числе отечественной серийно-выпускаемой ЭКБ присутствуют только отдельные функциональные блоки оборудования систем связи с рабочими частотами до 6 ГГц и отсутствуют микросхемы, способные в едином корпусе обеспечить прием, обработку и передачу сигнала с рабочими частотами mmWave диапазона 5G.

5. Заключение

Аналитический обзор современного состояния и перспектив развития телекоммуникационных сетей 5G показал высокую степень разработки стандартов и спецификаций, определяющих основные характеристики оборудования и сценарии его применения.

На основе технических спецификаций консорциума 3GPP могут быть сформированы требования, обоснованы количественные значения основных технических характеристик ЭКБ для производства оборудования телекоммуникационных сетей 5G на базе отечественных предприятий радиоэлектронной промышленности.

Анализ патентной активности в области технологий 5G показывает, что ведущие мировые разработчики и поставщики телекоммуникационного оборудования уделяют большое внимание созданию интеллектуальной собственности и стандартизации в области новых технологий связи. А их конкурентоспособность на мировом рынке напрямую связана с количеством инвестиций в исследования и разработки новых технологий. Компаниям, не имеющим собственных исследовательских центров, сложно конкурировать из-за необходимости лицензирования множества запатентованных технологий.

Одной из проблем радиоэлектронной промышленности России в части разработки отечественного оборудования сетей 5G является отсутствие на рынке современной ЭКБ приемопередающих модулей, сигнальных процессоров, быстросрабатывающих ЦАП и АЦП.

Источники финансирования и выражение признательности

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-37-90128\19.

Список литературы

- 1 FG IMT-2020: Report on Standards Gap Analysis – ITU 2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.itu.int/md/T13-SG13-151130-TD-PLN-0208/en> (дата обращения: 01.03.2021).
- 2 Focus Group on IMT-2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/imt-2020/Pages/default.aspx> (дата обращения: 01.03.2021).
- 3 3GPP Release 16 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.3gpp.org/release-16> (дата обращения: 01.03.2021).
- 4 Тихвинский В. О. Технологии 5G — базис мобильной инфраструктуры цифровой экономики // Электросвязь. 2018. № 3. С. 48—55.
- 5 A look at key innovation areas of 3GPP Rel-17 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ericsson.com/en/blog/2019/12/3gpp-rel-17> (дата обращения: 01.03.2021).
- 6 Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/info/35568/> (дата обращения: 01.03.2021).
- 7 3GPP TR 38.913 Study on scenarios and requirements for next generation access technologies [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2996> (дата обращения: 01.03.2021).
- 8 3GPP TS 38.211 NR; Physical channels and modulation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3213> (дата обращения: 01.03.2021).
- 9 3GPP TS 38.300 NR; NR and NG-RAN Overall description; Stage-2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3191> (дата обращения: 01.03.2021).
- 10 3GPP TS 38.104 NR; Base Station (BS) radio transmission and reception [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3202> (дата обращения: 01.03.2021).
- 11 3GPP TS 38.817-02 General aspects for Base Station (BS) Radio Frequency (RF) for NR [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3360> (дата обращения: 01.03.2021).
- 12 3GPP TS 38.101-1: NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3283> (дата обращения: 01.03.2021).
- 13 3GPP TS 38.101-2: NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3284> (дата обращения: 01.03.2021).
- 14 3GPP TS 38.101-3: NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 3: Range 1 and Range 2 Interworking operation with other radios [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3285> (дата обращения: 01.03.2021).
- 15 3GPP TS 38.101-4: NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 4: Performance requirements [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/>

- desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3366 (дата обращения: 01.03.2021).
- 16 3GPP TR 38.817-01: NG Radio Access Network (NG-RAN); Stage 2 functional specification of User Equipment (UE) positioning in NG-RAN [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3359> (дата обращения: 01.03.2021).
 - 17 Landscape analysis of 5G patent families [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.managingip.com/article/b1plrrv4knsngnm/landscape-analysis-of-5g-patent-families> (дата обращения: 01.03.2021).
 - 18 Who is leading the 5G patent race? A patent landscape analysis on declared 5G patents and 5G standards contributions [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.iplytics.com/wp-content/uploads/2019/01/Who-Leads-the-5G-Patent-Race_2019.pdf (дата обращения: 01.03.2021).
 - 19 Батуев Б. Технологии 5G : поэтапное внедрение и элементная база для абонентского оборудования // Беспроводные технологии. 2019. № 4. С. 15—27.
 - 20 Правительство РФ утвердило дорожную карту развития 5G. Ростех [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rostec.ru/news/pravitelstvo-rf-utverdilo-dorozhnyuyu-kartu-razvitiya-5g/> (дата обращения: 01.03.2021).
 - 21 Ростех представил макет российской базовой станции 5G на ЦИПР-2020. Ростех [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rostec.ru/media/pressrelease/rostekh-predstavil-maket-rossiyskoj-bazovoy-stantsii-5g-na-tsipr-2020/> (дата обращения: 01.03.2021).
 - 22 Единый реестр российской радиоэлектронной продукции (в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 10 июля 2019 г. № 878). Минпромторг России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gispr.gov.ru/documents/10546664/> (дата обращения: 01.03.2021).
 - 23 Пономарев О. П., Мойсейченко А. Н., Бахтин А. А., Омелянчук Е. В., Семенова А. Ю., Михайлов В. Ю. Базовые станции 5G : возможности реализации в России // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2019. Т. 2, № 3. С. 334—348.
 - 24 АО «НИИМА “Прогресс”». Продукция. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mri-progress.ru/products/> (Дата обращения: 01.03.2021).
 - 25 Микросхемы Продукция АО «ПКК “Миландр”» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ic.milandr.ru/products/> (дата обращения: 01.03.2021).
 - 26 Четырехканальный цифровой SDR-приемник 1288ХК1Т АО НПЦ «Элвис» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://multicore.ru/index.php?id=50> (дата обращения: 01.03.2021).
 - 27 СБИС К1879ВЯ1Я ЗАО НТЦ «Модуль» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.module.ru/products/1/23-18791> (дата обращения: 01.03.2021).

Информация об авторе

Филиппов Иван Фёдорович, аспирант кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация. ORCID 0000-0001-7897-6415.

Information about the author

Ivan F. Filippov, graduate student, Radioelectronics and Telecommunications Department, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation. ORCID 0000-0001-7897-6415.

УДК 621.3.049

Влияние радиации на характеристики датчиков ультрафиолетового излучения на основе природного алмаза¹

¹Громов Д. В., ^{2,3}Полевич С. А.

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Каширское шоссе, 31, Москва, 115409, Российская Федерация

²АО «НПП «Исток» им. Шокина»

г. Фрязино, Московская обл., 141190, Российская Федерация

sapol@fryazino.net

³АО «ЭНПО СПЭЛС»

Каширское шоссе, 31, г. Москва, 115409, Российская Федерация

sapol@spels.ru²

Получено: 20 февраля 2021 г.

Отрецензировано: 9 марта 2021 г.

Принято к публикации: 10 марта 2021 г.

Аннотация: Проведено исследование остаточных и переходных радиационных эффектов при воздействии стационарного и импульсного облучения гамма-квантами на характеристики датчиков ультрафиолетового излучения на основе природного алмаза с различными концентрациями сопутствующей примеси азота. Установлено, что влияние переходных радиационных эффектов может быть оценено с помощью модели BARITT диода.

Ключевые слова: гамма излучение, радиационные эффекты, датчики, ультрафиолетовое излучение.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Громов Д. В., Полевич С. А. Влияние радиации на характеристики датчиков ультрафиолетового излучения на основе природного алмаза // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2021. Т. 3, № 4. С. 424—432.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Громов, Д. В. Влияние радиации на характеристики датчиков ультрафиолетового излучения на основе природного алмаза / Д. В. Громов, С. А. Полевич // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2021. — Т. 3, № 4. — С. 424—432.

¹ Статья является расширенной версией доклада, представленного на 30-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2020 (Севастополь, РФ, 6—12 сентября 2020 г.).

Effect of radiation on the characteristics of ultraviolet radiation sensors based on natural diamond

D. V. Gromov¹ and S. A. Polevich^{2,3}

¹*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute).
Kashirskoe shosse, 31, Moscow, 115409, Russian Federation*

²*Scientific & Production Enterprise "Istok", JSC*

Fryazino, Moscow Region, 141190, Russian Federation

³*Scientific & Production Enterprise "SPELS", JSC
Kashirskoe shosse, 31, Moscow, 115409, Russian Federation
DVGromov@mephi.ru*

Received: February 20, 2021

Peer-reviewed: March 9, 2021

Accepted: March 10, 2021

Abstract: Total dose and dose rate effects are investigated in ultraviolet sensors based on natural diamond with various concentrations of nitrogen impurity. Transient effects in the devices based on IIa-group natural diamond are described with a BARITT diode model.

Keywords: gamma radiation, radiation effects, sensors, ultraviolet radiation.

For citation (IEEE): D. V. Gromov et al. "Effect of radiation on the characteristics of ultraviolet radiation sensors based on natural diamond," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 424–432, 2020. (In Russ.).

1. Введение

Датчики ультрафиолетового (УФ) излучения широко используются в космических исследованиях, в высокотемпературных исследованиях плазмы, в спектральном анализе, в экологии, медицине и во многих других отраслях науки и техники. Ультрафиолетовые датчики применяются для определения толщины озонового слоя Земли и негативных последствий УФ-облучения в некоторых географических регионах.

Алмаз является перспективным материалом для создания датчиков коротковолнового электромагнитного УФ-диапазона благодаря характерному строению запрещенной зоны и спектральной характеристике (рис. 1), а также высоким значениям оптической прочности и радиационной стойкости. При этом наилучших результатов удается достичь при использовании природных алмазов [1].

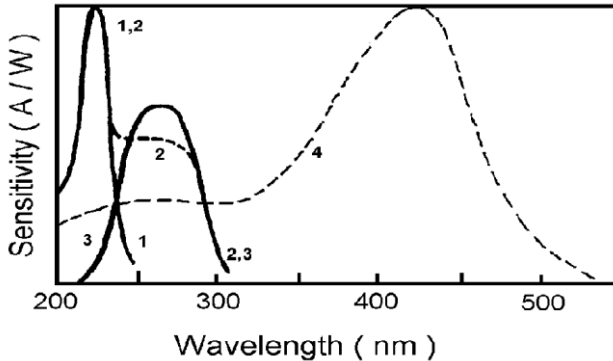


Рис. 1. Характеристики спектральной чувствительности натуральных алмазов: IIa (1), «промежуточного» типа (2), Ia (3) и GaP диода (4).

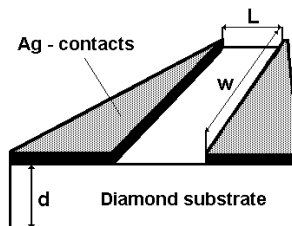
Fig. 1. Sensitivity spectral characteristics of natural diamond: IIa (1), “intermediate”-type (2), Ia (3) and of GaP diode (4)

В настоящей работе приведены результаты исследования характеристик датчиков для регистрации УФ-излучения на основе природного алмаза при воздействии стационарного и импульсного гамма-излучения.

Проведено расчетное моделирование деградации характеристик датчиков при воздействии импульсного ионизирующего гамма-излучения.

2. Объекты исследования и методика эксперимента

В качестве датчиков излучения использовались пластины природного алмаза типа IIa с нанесенными серебряными контактами. Кристаллы датчиков были установлены в стандартные транзисторные корпуса без крышки. Исследовались два типа образцов датчиков, отличающихся значениями концентраций сопутствующих примесей азота ($N_{d1}=10^{14} \text{ см}^{-3}$ — Обр. 1 и $N_{d2}=10^{15} \text{ см}^{-3}$ — Обр. 2). Конструкция датчика показана на рис. 2.



$$d = 0.6...0.8 \text{ mm}; \quad L = 0.8...0.9 \text{ mm}; \quad w = 2.7...3.0 \text{ mm}$$

Рис. 2. УФ датчик на алмазном кристалле.

Fig. 2. UV-sensor based on diamond crystal

Радиационные испытания проводились на экспериментальной базе АО «НИИП». Импульсная гамма-установка характеризовалась средней длительностью импульса 22 нс, испытания проводились до максимальных уровней мощности дозы $5,0 \times 10^{10}$ рад/с. Интенсивность источника стационарного гамма-излучения Co^{60} составляла 280 рад/с. Образцы испытывались в диапазоне доз $1,7 \times 10^4$ — $1,2 \times 10^6$ рад. Диапазон рабочих напряжений датчиков составлял 10—100 В. Для учета вклада в ток непосредственно кристалла датчика других составляющих, связанных с радиационным экспериментом (проводимость воздушных промежутков и диэлектрических элементов корпусов, электретных эффектов в кабельных линиях, токов натекания, обусловленных проведением измерений в ионизированной среде и т. д.) использовался аналогичный транзисторный корпус без кристалла (далее «корпус»). Измерялись токи датчиков без дополнительной подсветки. Структурная схема для измерений при импульсном воздействии радиации приведена на рис. 3.

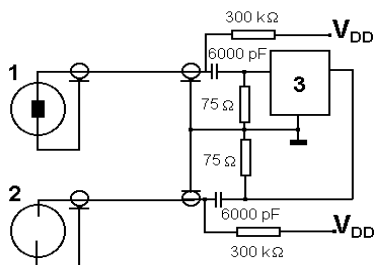


Рис. 3. Экспериментальная схема для измерения переходных характеристик:
1 — образец в корпусе, 2 — образец без датчика, 3 — запоминающий осциллограф с дифференциальным входом.

Fig. 3. Experimental scheme for transient current response measurements: 1 — packaged sample; 2 — packaged sample without a sensor; 3 — storage oscilloscope with a differential input

3. Радиационные эффекты в алмазе

Структурные эффекты смещения представляют собой перемещения атомов из своего нормального положения в кристаллической решетке вещества, которые могут происходить вследствие передачи атому некоторой энергии при облучении. Образующиеся при этом нарушения кристаллической структуры носят название первичных радиационных дефектов.

Пороговая энергия смещения E_d определяется как минимальная энергия, которую необходимо приложить к атому, чтобы переместить его из нормального положения.

Пороговая энергия смещения (дефектообразования) E_d является фундаментальным показателем стойкости полупроводниковых материалов

к воздействию стационарных ионизирующих излучений при образовании радиационных дефектов в структуре материала. Наличие подобных дефектов в полупроводнике приводит к деградации основных электрофизических параметров — концентрации, времени жизни и подвижности носителей заряда. Следует также отметить, что значение пороговой энергии связано с постоянной решетки полупроводника a_0 .

Расчетные значения E_d для различных полупроводниковых материалов в зависимости от постоянной решетки материала приведены в табл. 1.

Табл.1. Величина пороговой энергии E_d в зависимости от постоянной решетки a_0 .

Table 1. The value of the threshold energy E_d depending on the lattice constant a_0 .

Полупроводник	GaAs(Ge)	Si	C-SiC	Алмаз	GaN	H-SiC
a_0 , Å	5,65	5,431	4,36	3,57	3,15	3,08
E_d , эВ	9	12,8	37	80	145	153

С учетом данных табл. 1 можно ожидать, что алмаз является одним из наиболее стойких полупроводников, используемых в твердотельной электронике. Он уступает по этому фактору к только H-SiC и GaN.

Дозовые эффекты в первую очередь относятся к диэлектрическим слоям и покрытиям, которые используются при формировании приборных структур. Однако в ряде случаев в результате различных физических эффектов они являются причиной перестройки зарядовых состояний и в активных областях приборов.

В результате рассмотренных процессов в приборных слоях могут протекать дополнительные токи утечки, или, наоборот, первичные технологические дефекты могут компенсироваться с уменьшением общего тока прибора.

Действие импульсного ионизирующего излучения на полупроводниковые и диэлектрические элементы сопровождается ионизацией, т. е. генерацией неравновесных электронно-дырочных пар.

Мощность поглощенной дозы определяет скорость генерации неравновесных носителей заряда (интенсивность ионизации). Мерой интенсивности ионизации служит количество генерируемых излучением неравновесных электронно-дырочных пар в единице объема в единицу времени (скорость генерации носителей):

$$G\gamma(t) = 10^{14} \frac{\rho \cdot P\gamma(t)}{1,602E_H} = g_0 P\gamma(t), (1)$$

где ρ — плотность полупроводникового материала, г/см³; $P\gamma(t)$ — мощность поглощенной дозы, рад/с; $E_H = 2,67 \times E_g + 0,87$, эВ — энергия ионизации, E_g —

ширина запрещенной зоны полупроводника, эВ; g_0 — эффективность ионизации, пар/(см³·рад), которая и определяет в конечном итоге значения фототоков, протекающих через прибор.

В табл. 2 приведены значения g_0 для различных материалов, применяемых в твердотельной СВЧ электронике.

Табл. 2. Значения g_0 для основных полупроводниковых материалов.

Table 2. g_0 for main semiconductor materials

Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Алмаз	H-SiC	GaN и Si	GaAs	Ge
$g_0 \times 10^{12}$, пар/(см ³ ·рад)	5,9	10	14	23	40	71	110

При идентичных топологических и электрофизических параметрах элементов ионизационный ток в приборах на основе алмаза существенно меньше по сравнению с элементами на других полупроводниках.

4. Результаты экспериментальных исследований

При исследовании стационарных радиационных эффектов при воздействии гамма-излучения источника Co⁶⁰ до уровня 1,2 Мрад измерялись темновые (без воздействия УФ-излучения) токи датчика и ток «корпуса». Радиационные изменения характеристик для двух образцов датчиков представлены в табл. 3.

Табл. 3. Темновые токи алмазных датчиков до и после облучения.

Table 3. The dark currents of the diamond sensors before and after exposure

Напряжение на датчике U, В	Темновой ток датчика до облучения, нА			Темновой ток датчика после облучения, нА		
	Образец №1	Образец №2	«Корпус»	Образец №1	Образец №2	«Корпус»
10	0,02	0,01	0,03	0,04	0,02	0,06
20	0,07	0,03	0,09	0,07	0,05	0,12
40	0,15	0,09	0,18	0,13	0,09	0,25
60	0,25	0,15	0,28	0,22	0,14	0,38
80	0,35	0,22	0,38	0,30	0,18	0,49
100	0,49	0,30	0,49	0,39	0,23	0,53

Как и ожидалось, характеристики датчиков после облучения практически не деградировали. При этом токи «корпуса», как до, так и после облучения превышали токи алмазного датчика. Аналогичные результаты испытаний были получены и в исследованиях *p-i-n* структур, изготовленных на основе алмазных материалов [2].

Сводные данные для случая импульсного воздействия гамма-квантами приведены на рис. 4. На рисунке символами представлены экспериментальные значения фототоков. Пунктирной линией показана расчетная зависимость для фоторезистивной модели.

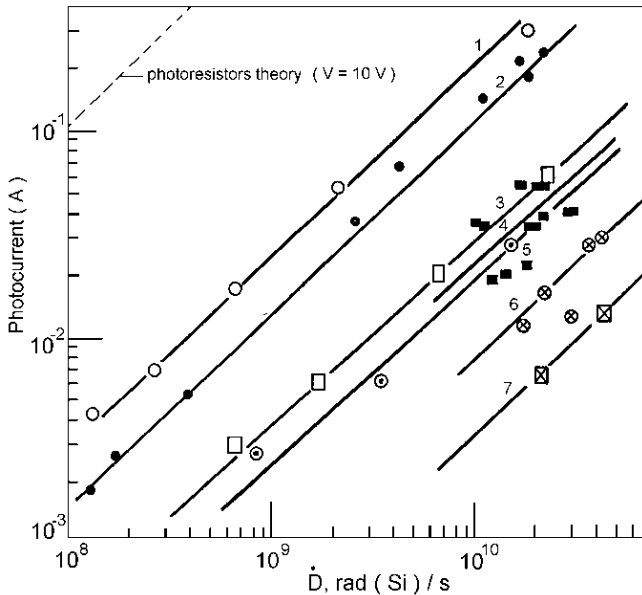


Рис. 4. Зависимости изменения фототока от мощности дозы: 1 — обр. № 2 с «корпусом», $U_d=100$ В; 2 — обр. № 2, $U_d=100$ В; 3 — обр. № 1 с «корпусом», $U_d=100$ В; 4 — обр. № 1, $U_d=100$ В; 5 — обр. № 2 с «корпусом», $U_d=10$ В; 6 — обр. № 2, $U_d=10$ В; 7 — обр. № 1 с «корпусом», $U_d=100$ В.

Fig. 4. Radiation-induced current to dose rate: 1 – Sample No. 2 with “packaged” sample, $V_{dd}=100$ V; 2 – Sample No. 2, $V_{dd}=100$ V; 3 – Sample No. 1 with “packaged” sample, $V_{dd}=100$ V; 4 – Sample No. 1, $V_{dd}=100$ V; 5 – Sample No. 2 with “packaged” sample, $V_{dd}=10$ V; 6 – Sample No. 2, $V_{dd}=10$ V; 7 – Sample No. 1 with “packaged” sample, $V_{dd}=10$ V

Как и в случае стационарного облучения, существенный вклад вносят токи утечки, определяемые корпусом, в котором установлен кристалл.

4. Обсуждение результатов

Как было отмечено выше, стационарное гамма-излучение слабо влияет на характеристики алмазных датчиков.

При воздействии импульсного воздействия гамма – излучения наблюдается генерация носителей заряда в объеме полупроводникового алмазного материала и формирование фототока между двумя контактами.

Если рассчитать фототок для структуры фоторезистора с двумя омическими контактами Ag — алмаз, то результаты расчета I_f будут существенно превышать экспериментальные значения (см. пунктирную зависимость на рис. 4).

В предположении, что контакты Ag к полупроводниковому алмазу не являются омическими, а рассматриваются как выпрямляющие, структура датчика представляет два встречно включенных диода с барьером Шоттки. Такой прибор нашел в литературе термин BARITT-диод [3].

Выражение для тока BARITT-диода может быть представлено в следующем виде:

$$I = A \times q \times n(D) \times v_s \times (U/U_{FB}),$$

где: A — эффективная площадь прибора; q — заряд электрона; $n(D) = g_0 \cdot D$, где g_0 — эффективность ионизации (пар/(см³·рад); D — поглощенная за импульс доза гамма-квантов. Для алмаза $g_0 = 1,41 \times 10^{13}$ пар/(см³·рад); величина $D = P\gamma t_p$, где $P\gamma$ — мощность дозы импульсного излучения, t_p — длительность импульса гамма-излучения; v_s — дрейфовая скорость носителей заряда; $U_{FB} = q \times N_d \times L^2 / 2 \times \epsilon_d$ — напряжение плоских зон; L — расстояние между контактами; $N_d \approx n_{dl}$ — концентрация глубокой примеси азота; ϵ_d — диэлектрическая проницаемость алмаза.

Таким образом, зависимости тока для двойной барьерной диодной структуры зависит не только от процессов ионизации «зона — зона», но и от ионизации носителей с глубоких донорных уровней.

На рис. 5a и 5b представлены экспериментальные зависимости фототока алмазных датчиков от мощности дозы для двух образцов с различными значениями концентрации сопутствующих примесей азота.

Сравнение экспериментальных и расчетных результатов показал их удовлетворительное совпадение при использовании модели BARITT-диода.

5. Заключение

Проведено исследование остаточных и переходных радиационных эффектов в датчиках на основе натурального алмаза. Установлено, что параметры датчика показывают незначительное изменение до уровней дозы $1,2 \times 10^6$ рад (Si). Эффекты мощности в алмазных датчиках могут быть оценены с помощью модели BARITT-диода с учетом глубоких уровней.

Список литературы

- 1 Gromov D. V., Kvaskov V. B., Maltsev P. P., Nikiforov A. Y., Telets V. A. Ultraviolet Sensors Based on the Natural Diamond // Proc. of the Evrosensors X Conference, (Leuven, Belgium, 8–11 September (1996)). Vol. 5. Pp.1441–1444.

- 2 Denisenko A., Fahner W. R., Strahle U., Henschel H., Job R. Radiation Response of p-i-p Diodes on Diamond Substrates of Various Type : Electrical Properties of Semiconductor-Insulator Homojunctions // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1996. Vol. 43, No. 6. Pp. 3081–3088.
- 3 Chaffin R. G. Microwave semiconductor devices : Fundamentals and radiation effects. John Wiley & Sons, N.Y., 1973. 320 p.

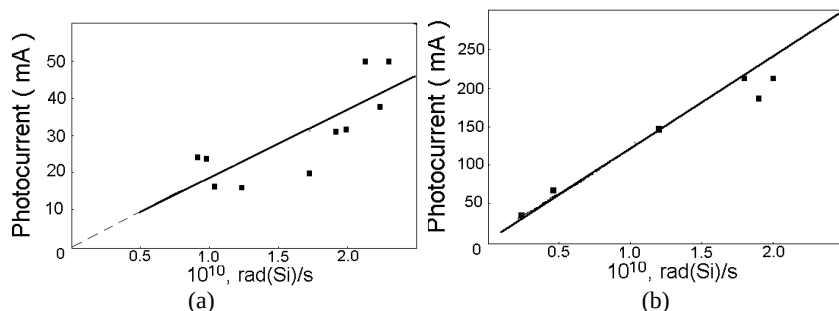


Рис. 5. Расчетные (линии) и измеренные (■) значения токов в зависимости от мощности дозы для обр. № 1 ($N_d=10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $U_d=100 \text{ В}$) (а); обр. № 2 ($N_d=10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $U_d=100 \text{ В}$) (б).
Эффективная площадь контактов $\approx 2,4 \text{ мм}^2$.

Fig. 5. The calculated (line) and measured (■) current as a function of dose rate for Sample No. 1 ($N_d=10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $V=100 \text{ V}$) (a); Sample No. 2 ($N_d=10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $V=100 \text{ V}$) (b), effective area $A \approx 2,4 \text{ mm}^2$

Информация об авторах

Громов Дмитрий Викторович, профессор Национального исследовательского университета «МИФИ», г. Москва, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-1601-9390.

Полевич Станислав Анатольевич, ведущий инженер АО «НПП “Исток” им. Шокина» г. Фрязино, Московская обл., Российская Федерация.

Information about the authors

Dmitry V. Gromov, Professor of National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russian Federation. ORCID 0000-0003-1601-9390.

Stanislav A. Polevich, leading engineer of Scientific & Production Enterprise “Istok”, JSC, Fryazino, Moscow Region, Russian Federation.

УДК 621.37-621.39(091)

Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты

Пестриков В. М.

*Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения
ул. Правды, д. 13, Санкт-Петербург, 191119, Российская Федерация
pvm205@yandex.ru*

Получено: 11 января 2021 г.

Отрецензировано: 21 января 2021 г.

Принято к публикации: 22 января 2021 г.

Аннотация: Аудион как усилитель радиосигналов, будь то телеграфного или телефонного, оказался далеко впереди любого другого усилителя, который когда-либо разрабатывался. В течение нескольких лет, с 1907 г. по 1911 гг. аудион использовался только в качестве чувствительного детектора при приеме радиосигналов. Общие принципы его работы не были поняты. Де Форест провел определенную экспериментальную работу по использованию аудионного усилителя в качестве телефонного ретранслятора, однако его ранние разработки не увенчались успехом. Это было связано с тем, что он не придавал особого значения величине смещения на сетке аудиона. Он пытался осуществлять усиление низкочастотного сигнала (AF) при величине смещения на сетке, предназначенной для усиления высокочастотного сигнала (RF). В 1912 г. первый звуковой усилитель удалось построить Фрицу Левенштейну, бывшему сотруднику компании Фореста.

Ключевые слова: аудион, усилитель радиочастоты, Джон С. Стоун, Отто фон Брок, Фриц Левенштейн, усилитель звуковой частоты, Ли де Форест, каскад, каскадные усилители звуковой частоты.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 4. С. 433—455.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Пестриков, В. М. Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 4. — С. 433—455.

Invention of an electronic tube audio frequency amplifier

V. M. Pestrikov

St. Petersburg State University of Film and Television
13, Pravda Str., St. Petersburg, 191119, Russian Federation
pvm205@yandex.ru

Received: January 11, 2021

Peer-reviewed: January 21, 2021

Accepted: January 22, 2021

Abstract: Audion as an amplifier of radio signals, whether telegraphic or telephone, was far ahead of any other amplifier that has ever been developed. For several years, from 1907 to 1911, audion was used only as a sensitive detector for receiving radio signals. The general principles of his work were not understood. De Forest conducted some experimental work on the use of an audion amplifier as a telephone repeater, however, his early development was unsuccessful. This was due to the fact that he did not attach much importance to the amount of displacement on the grid of the audion. He tried to amplify a low-frequency signal (AF) with an offset value on a grid designed to amplify a high-frequency signal (RF). In 1912, the first sound amplifier was built by Fritz Lowenstein, a former employee of the Forest company.

Keywords: audion, RF amplifier, John S. Stone, Otto von Bronk, Fritz Lowenstein, audio amplifier, Lee de Forest, cascade, cascade audio amplifiers.

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov "Invention of an electronic tube audio frequency amplifier," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 433–455, 2020. (In Russ.).

1. Введение

Аудион в течение почти пяти лет после его изобретения использовался только в качестве детектора радиосигналов, так как механизм усиления и общие принципы его работы не были поняты. Де Форест провел определенную экспериментальную работу по разработке усилителей низкой частоты для телефонных ретрансляторов, но его ранние попытки в этом направлении не увенчались успехом. Это вероятно потому, что он использовал режимы детектирования вместо режима усиления и неправильно устанавливал смещение на сетке лампы.

Изначально радиоприемники Ли де Фореста собирались на одном ламповом триоде типа аудион. В этих радиоприемниках аудион работал в

режиме сеточного детектирования. В результате детектирования создавалось низкочастотное напряжение на его сетке, которое затем усиливалось самой лампой. Таким образом, аудион одновременно выполнял функции детектора и усилителя. Благодаря этому среди известных детекторов того времени аудион считался наиболее стабильным и чувствительным приемником радиоволн.

Сам Ли де Форест, а также разработчики приемников на аудионе, в течение 1907—1910 гг., были в неведении относительно его возможностей усиления электрических сигналов.

Конструкция аудиона была известна радиотехникам многих стран, одни из них копировали его для использования в своих радиоустройствах, другие занимались его усовершенствованием, стараясь создать на его основе свою оригинальную трехэлектродную лампу.

2. Усилитель радиочастоты Бронка

В 1911 г. менеджером патентного отдела A.E.G.-Telefunken Отто фон Бронком (*Otto Romanus von Bronk*, 29.02.1872—05.08.1951) была разработана трехэлектродная лампа на основе электрической лампы для елочной гирлянды с низким напряжением нити накала. В качестве электродов он использовал два стержня из толстого медного провода. Стержни были вплавлены внутрь стеклянного баллона над нитью накала. Один из стержней играл роль сетки и находился между вторым стержнем-анодом и нитью накала. Лампа имела стандартный резьбовой цоколь E14. Для изготовления нити накала использовался прессованный вольфрам. Снаружи стеклянного баллона к концам стержней были приварены подводящие провода. Фон Бронк разработал эту лампу для усилителя высокой частоты, который включался перед детекторным каскадом. В основе разработки Бронка лежал патент DE249142¹, который получили его коллеги по компании Роберт фон Либен, Евгений Рейс и Зигмунд Штраус. В этом патенте были приведены возможные варианты подачи смещения на сетку трехэлектродной лампы их конструкции.

3 сентября 1911 г. Отто фон Бронк запатентовал схему радиоприемника на кристаллическом детекторе с каскадом усиления радиочастоты на вакуумном триоде [1]. На схеме (рис. 1) кристаллический детектор обозначен буквой *l*.

¹ Немецкий патент DE249142 на трехэлектродную лампу LRS конструкции Р. фон Либена, Е. Рейса и З. Штрауса был выдан 20.12.1910 г. с приоритетом от 04.09.1910 г.

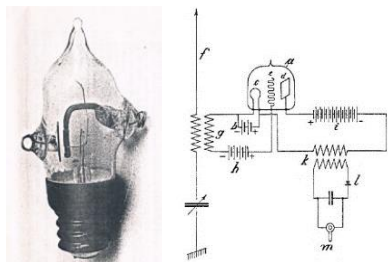


Рис. 1. Вакуумный триод Бронка и схема детекторного приемника с усилителем радиочастоты. Патент Бронка DRP271059 (1911 г.).

Fig. 1. Bronk's vacuum triode and a detector receiver circuit with a radio frequency amplifier.

Patent of Bronk DRP271059 (1911)

Это по существу был первый патент, в котором вакуумная трехэлектродная лампа использовалась в каскаде для усиления электрических сигналов, в частности, сигналов радиочастоты. Нужно заметить, что в этом патенте фон Бронка нет упоминаний о выборе величины смещения на сетке вакуумного триода, от которого зависит режим его работы (только детектирование или только усиление электрических сигналов). На схеме патента каскад на трехэлектродной лампе представлен как усилитель радиочастоты, в то время как сетка подключена к плюсу гальванической батареи. При таком потенциале на сетке режим лампы ближе к детектированию.

Следует заметить, что схема усилителя радиочастоты на вакуумном триоде фон Бронка напоминает схему аудионного приемника, приведенную в патенте известного американского радиоинженера Джона С. Стоуна (*John Stone Stone*, 24.09.1863—20.05.1943) и сотрудника его компании С. Кэбота (*Sewall Cabot*), рис. 2 [2].

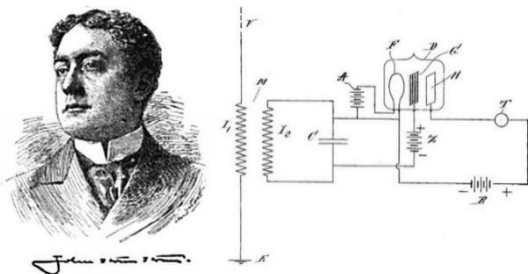


Рис. 2. Джон С. Стоун (1910) и принципиальная схема радиоприемника на аудионе с подачей смещения на сетку от гальванического элемента. Патент Дж. Стоуна и С. Кэбота US884110A (1907).

Fig. 2. John S. Stone (1910) and circuit diagram of an audion receiver with bias to the grid from a galvanic cell. J. Stone's and S. Cabot patent US884110A (1907)

В патенте Джона С. Стоуна и С. Кэбота, вероятно, впервые приведено функциональное питание аудиона от трех отдельных гальванических батарей. В дальнейшем в англоязычной технической литературе тех лет за этими батареями было закреплено название: «А» батарея (англ. “A” battery) — питание нити накала, «В» батарея (англ. “B” battery) — анодная батарея, «С» батарея (англ. “C” battery) — батарея смещения потенциала сетки вакуумного триода.

Дж. Стоун и С. Кэбот в дальнейшем не занимались разработкой трехэлектродных ламп и ограничились только полученным патентом.

3. Усилитель звуковой частоты Левенштейна

Исследованиями возможностей использования аудиона в качестве усилителя электрических сигналов занимались инженеры в различных лабораториях мира. Важный шаг в этом направлении сделал австрийский инженер Фриц Левенштейн (*англ. Fritz Lowenstein, нем. Fritz Löwenstein (Loewenstin)*), 07.09.1874—27.05.1922), работавший в США. Он обнаружил, что подача небольшой величины отрицательного смещения на сетку аудиона улучшает его работу.

Фриц Левенштейн выходец из города Остров (*Ostrov Schlackenwerth*, область Богемия, Австро-Венгрия) иммигрировал в США в 1899 г. Сначала работал ассистентом Николы Тесла в его Нью-Йоркской лаборатории (Колорадо-Спрингс, *Colorado Springs*), где занимался проблемами беспроводной передачи энергии на расстоянии. Здесь он приобрел некоторый опыт работы с ртутной лампой Хьюитта (*Hewett*), которая была в дальнейшем использована им при разработке телефонного усилителя. Он также занимался разработкой мощных преобразователей переменного тока в постоянный ток. Осенью 1899 г. Левенштейн ушел от Теслы в компанию Ли де Фореста, где и познакомился с конструкцией аудиона.

В 1910 г. *De Forest Radio Telephone & Telegraph Co. (New York)* обанкротилась. К этому времени Ли де Форесту удалось создать небольшую группу талантливых инженеров, которые хорошо разбирались в устройстве аудиона и в схемах его включения. Приостановка выдачи заработной платы привела к уходу из компании этой группы специалистов, которые унесли с собой технологии аудиона и предположения о том, что аудион можно использовать не только для детектирования, но и для других целей.

Среди ушедших специалистов от Ли де Фореста был, и инженер Фриц Левенштейн. В 1910 г. он организовал свою собственную компанию в Бруклине (район Нью-Йорка), которая получила название: *Lowenstein Radio Company (Nassau Street, Brooklyn, N.Y.)*. Компания предоставляла консультационные услуги в области радиотехники.

К компании Левенштейна присоединился выходец из Швейцарии способный инженер Фредерик Колстер² (*Frederick Augustus Kolster*, 13.01.1883—23.07.1950), который также работал с 1909 по 1911 гг. у де Фореста. Нужно заметить, что Фриц Левенштейн был известным инженером радиотехником; так в 1911—1912 гг. он был первым вице-президентом (*1st Vice-President*) *SWTE (Society of Wireless Telegraph Engineers)*, а затем в *IRE*.

² Фредерик Колстер в 1912 г. стал начальником отдела радио в американском бюро стандартов (Radio Section of the U. S. Bureau of Standards). Имел большое количество патентов. Среди них пеленгатор, радиокомпас Колстер и четырехсекционный переменный конденсатор. Организовал корпорацию *Kolster Radio Corporation* (1928) по выпуску радиоприемников, которая через 2 года прекратила существование.

В мае 1911 г. Фриц Левенштейн был приглашен в качестве консультанта в исследовательскую лабораторию Джона Хаммонда младшего (*John Hays Hammond, Jr.*, 1888—1965) в Глостере (*Gloucester*, штат Массачусетс), в которой занимались изучением возможностей радиоуправления торпедами и кораблями в интересах ВМС США, рис. 3. Он стал известен как «отец радиоуправления». Новаторские разработки Хаммонда-младшего в области электронного дистанционного управления явились основой для всех современных устройств радиоуправления, включая современные системы наведения ракет, беспилотные летательные аппараты (БЛА) и беспилотные боевые летательные аппараты (ББЛА).



Рис. 3. Джон Хаммонд младший (1922 г.) и его беспроводная торпедная лодка «Natalie» (23 ноября 1914 г.).

Fig. 3. John Hammond Jr. (1922) and his wireless torpedo boat “Natalie” (November 23, 1914)

До прихода Фрица Левенштейна особых успехов в этой области у Дж. Хаммонда не было. Для дистанционного управления использовалась система, состоящая из искрового передатчика и приемника с когерером Маркони. Средства для финансирования исследований Дж. Хаммонда были предоставлены его отцом, который был горным инженером и работал с Сесилем Родсом³ в Южной Африке, где сделал очень большое состояние на алмазах. Дж. Хаммонд не был выдающимся ученым, но обладал замечательной способностью собирать вокруг себя талантливых творческих людей, которым он указывал направление научных исследований и предоставлял для этого организационную и необходимую денежную поддержку. Благодаря этому в течение короткого периода времени лаборатория Хаммонда стала одним из двух научно-технических центров в Соединенных Штатах, где проводились важные работы по совершенствованию аудиона.

³ Сесиль Джон Родс (англ. *Cecil John Rhodes*, 05.07.1853—26.03.1902) — английский и южно-африканский политический деятель, бизнесмен, строитель собственной всемирной империи, инициатор английской колониальной экспансии в Южной Африке. В честь Родса получили свои названия Северная Родезия (ныне Замбия) и Южная Родезия (позже — Родезия, ныне — Зимбабве).

Программа исследований Левенштейна включала разработку системы радиоуправления, а также анализ существующих конструкций детекторов и усилителей электрических сигналов. В качестве передатчика радиоволн он планировал использовать генераторы незатухающих колебаний: машинный генератор Александерсена (*Ernst Frederick Werner Alexanderson*) и дуговой генератор Паульсена (*Valdemar Poulsen*).

Из экспериментов с ртутной лампой он знал, что эта лампа, как и дуги Дудделя (*William Du Bois Duddel*) и Паульсена, обладает отрицательным сопротивлением. Исходя из этого Левенштейн обратил свое внимание на аудион де Фореста, который по его соображениям напоминал ртутную лампу. Это и стало отправной точкой в начале экспериментов с аудионом, чтобы проверить, обладает ли он также отрицательным сопротивлением. Если это так, то тогда открывался путь по применению аудиона для усиления электрических сигналов.

Следует заметить, что Левенштейн еще до сотрудничества с Хаммондом проводил исследования по использованию аудиона в качестве усилителя. Об этом Левенштейн пишет в письме к Хаммонду от 19 сентября 1911 г., в котором отмечает свои «усилия по проведению телефонных тестов прошлой зимой» [3], то есть зимой 1909—1910 гг. Из другого документа, письменного заявления, поданного Фрицем патентному эксперту в ходе судебного рассмотрения его патентной заявки, стало известно об использовании им отрицательного смещения на сетке или батарее «С», патент US1231764 от 1912—1917 гг.

Левенштейн, проанализировав результаты своих предыдущих исследований по данной проблеме, продолжил в Нью-Йорке в 1911 г. разработку трехэлементного «ионного контроллера» (англ. *ion controller*) для выпрямителей, управляющих реле, а также для усиления электрических сигналов. Для того чтобы скрыть от конкурентов конструкцию аудиона де Фореста, которая применялась в его разработках, он дал ему другое название — ионный контроллер. Это название использовалось и в технической документации разрабатываемых устройств в лаборатории Хаммонда.

Для финансирования этих исследований он заключил контракт с Хаммондом на условии, что он получит 50 % прибыли от внедрения результатов работы, если они окажутся успешными. Левенштейн уже предпринимал попытки использовать аудион в качестве усилителя электрических сигналов, когда работал в *De Forest Radio Telephone & Telegraph Co.* и достиг определенных успехов. Первоначальные трудности в получении достаточно высокого вакуума (порядка 10^{-6} мм рт. ст.) им были преодолены, и 13 ноября 1911 г. он сообщил об успехе. Это позволило изготовить

усилитель на аудионе. Устройство прошло проверку сначала на телефонной линии и показало хорошие результаты. Переданный человеческий голос был очень громкий и четкий.

К возобновлению исследований Левенштейном в 1911 г., вероятно, подтолкнула информация из Германии о работе фон Либена. Известно, что Фриц следил за литературой на немецком языке, а поездка Хаммонда в Германию летом 1911 г. позволила ему ознакомиться с европейскими исследованиями. Поэтому до конца 1911 г. Левенштейн еще не занимался изучением цепи сетки аудиона (рис. 4а). В сентябре 1911 г. в Патентном ведомстве США появились представители фон Либена. Их основной целью было решение вопроса о получении американского патента⁴ на трехэлектродную лампу LR (Lieben-Reisz) в схеме телефонного усилителя со смещением на сетку, рис. 4б.

Сложившаяся ситуация заставила Левенштейна пересмотреть роль конденсатора в цепи сетки триода. Поэтому нельзя утверждать, что Левенштейн первым пришел к подаче отрицательного смещения на сетку вакуумного триода. Несмотря на это, главным в звуковом усилителе Левенштейна было то, что из схемы Фореста он исключил конденсатор C'' (рис. 4а), через который шел сигнал на сетку. В зависимости от того, какая приходила полуволна входящего радиосигнала (отрицательная или положительная), каждый раз появлялся новый знак смещения на сетке. Это и было одной из причин нестабильной работы аудиона. Для ее устранения Левенштейн подал на сетку постоянное отрицательное смещение от C батареи (на рис. 4с).

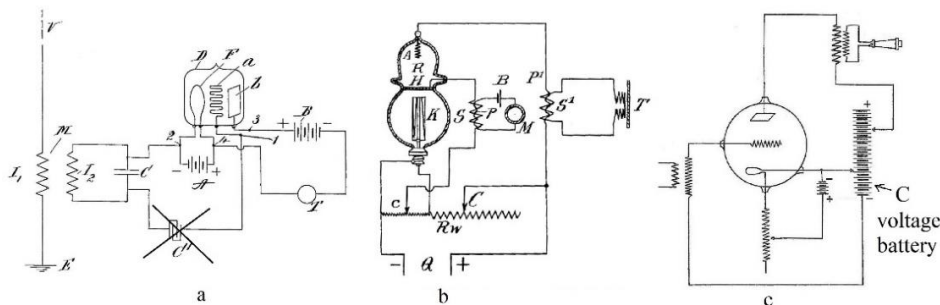


Рис. 4. Схема радиоприемника Ли де Фореста без конденсатора C'' (а), телефонный усилитель (рисунок b из патента US1038910) и схема усилителя звуковой частоты Левенштейн с батареей смещения C (с).

Fig. 4. Radio circuit without capacitor C'' (a), telephone amplifier (Figure b from US1038910) and audio amplifier circuit Lowenstein with bias battery C (c)

⁴ Американский патент US1038910 на лампу LR был получен Р. фон Либеном и Е. Рейсом 17.09.1911 с приоритетом от 30.01.1911 г.

Другими словами, Левенштейн понял, для того чтобы аудион работал в режиме усиления, необходимо подобрать соответствующий режим его работы. Главным при этом является подача на его сетку постоянного отрицательного напряжения, называемого отрицательным смещением. Такой режим позволяет работать аудиону на линейном участке его характеристики при отсутствии тока в цепи сетки, рис. 5.

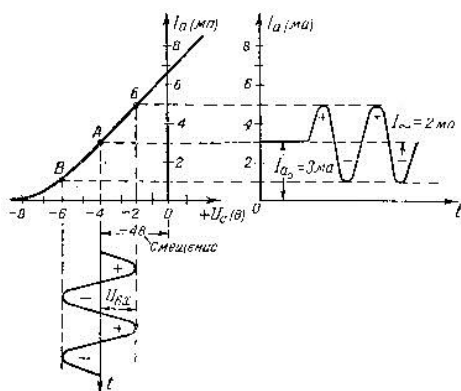


Рис. 5. Процесс усиления вакуумной трехэлектродной лампы типа «аудион» при подаче отрицательного смещения на сетку.

Fig. 5. The process of amplification of a vacuum three-electrode tube of the “audion” type when applying a negative bias to the grid

В этом случае аудион-детектор преобразовывается в усилитель класса А, который работает без отсечки сигнала на наиболее линейном участке вольтамперной характеристики усилительных элементов. Это гарантирует минимум нелинейных искажений, причем как при номинальной мощности, так и при малых мощностях. В среднем КПД усилителя класса А составляет 15—30 %, а потребляемая мощность не зависит от величины выходной мощности. Мощность рассеяния максимальна при малых сигналах на выходе.

Первым применением звукового усилителя стала его установка в 1911 г. в приемной компании Левенштейна.

4. Попытка продажи Левенштейном своего изобретения

После успешных испытаний Фриц Левенштейн решил продать свое изобретение. 27 января 1912 г. он продемонстрировал инженерам *Bell Telephone System, F. B. Jewett и O. B. Blackwell*, звуковой усилитель, который был помещен в запечатанную коробку. Это было связано, по всей видимости, с тем, что его изобретение еще не было защищено патентом. Коробка, в которой находился усилитель, содержала свинцовые прокладки, чтобы воспрепятствовать в получении рентгеновских снимков демонстрируемого устройства. Рабочие характеристики усилителя были нестабильными и поэтому Левенштейн не раскрыл особенности своего устройства. Сотруд-

никам Bell Co. не была предоставлена даже малейшая возможность, по которой можно было бы судить о пригодности усилителя для телефонных линий. В результате Фрицу Левенштейну не удалось заинтересовать своим изобретением *Bell Co.*

Прошло около года, после чего Левенштейн раскрыл тайну запечатанной коробки. В ней оказался один из аудионов де Фореста, который производил и продавал Генри МакКэндлесс (*Henry Wallace McCandless*, 1866—24.12.1957). Аудион имел в цепи сетки гальванический элемент для создания отрицательно смещения относительно катода лампы.

24 апреля 1912 г. Фриц Левенштейн подал заявку на получение патента на усовершенствованную конструкцию аудиона в качестве усилителя для телефонных линий, рис. 6 [4].

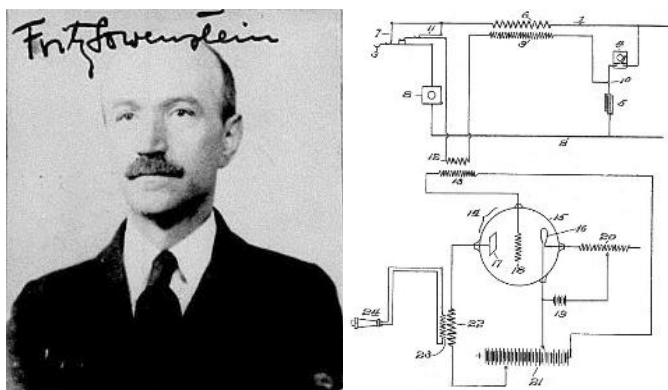


Рис. 6. Фриц Левенштейн и его патент US1231764 на усилитель звуковой частоты на аудионе с отрицательным смещением на сетку (1912 г.).

Fig. 6. Fritz Lowenstein and his patent US1231764 for an audion frequency amplifier with a negative offset to the grid (1912)

В патенте Фрица Левенштейна подача отрицательного напряжения смещения в цепь управляющей сетки была решена подключением соответствующей гальванической батареи ("*C*" battery). В последующие годы патент с отрицательным смещением приобрел большое значение и являлся предметом многочисленных судебных разбирательств.

Фриц Левенштейн получил патент на *Telephone-relay* (телефонное реле) только через пять после подачи заявки, 3 июля 1917 г. Задержка была связана с тем, что уже был выдан американский патент US1038910 на схему телефонного усилителя на немецкой лампе *Lieben-Reisz* (*Relay For Undulatory Currents* — реле для переменного тока). Левенштейн получил права только на батарею смещения "*C*". *AT&T* была вынуждена купить

патент у Левенштейна за \$150000, так как использовала усилители на аудионах с батареей смещения “С”.

Изобретение усилителя звуковой частоты Левенштейном не осталось незамеченным. Инженер GE Эрнст Александерсон, который посетил Хаммонда, случайно увидел ламповый усилитель и сообщил об этом Ирвину Ленгмюру. Это подтолкнуло Ленгмюра в 1913 г. к разработке трехэлектродных вакуумных ламп с высоким вакуумом для усиления и генерирования электрических сигналов.

Другим человеком, который обратил внимание на потенциальную важность аудионного усилителя Левенштейна, был Бич Томпсон (*Beach Thompson*), президент Федеральной телеграфной компании (*Federal Telegraph Company*) в Сан-Франциско, Калифорнии, которая производила радиотелеграфные системы дальнего радиуса действия с использованием мощных дуговых передатчиков Паульсена.

В 1918 г. Левенштейн, будучи в немецком ресторане под зданием Вулворт-билдинг⁵ (*Woolworth Building*, рис. 7), на вопрос друга, как такое произошло, бодро произнес, а затем заметил в вопросительном ключе: «И подумать только, за небольшую сухую батарею!» При соответствующем уточнении: «Но в нужном месте!» Фриц был так доволен своим достижением, что носил с собой выставку фотографий своего изобретения, которую демонстрировал друзьям, словно скальп индейца!

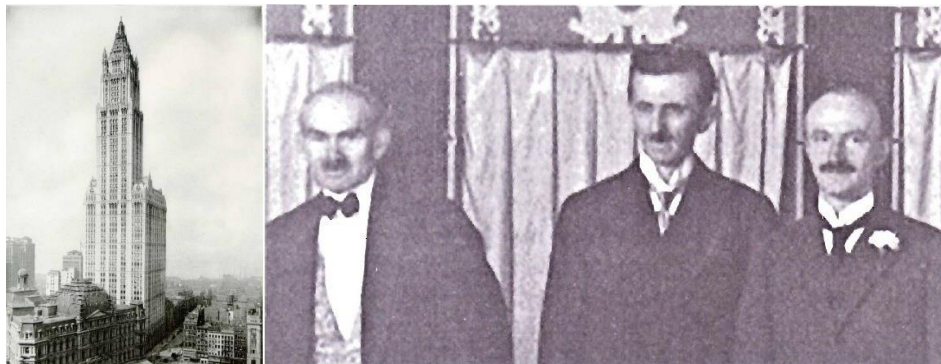


Рис. 7. Вулворт-билдинг. Нью-Йорк. 1918 г. Слева направо: Ли де Форест, Никола Тесла и Фриц Левенштейн. 1915 г.

Fig. 7. Woolworth Building, New York. 1918. From left to right: Lee de Forest, Nikola Tesla and Fritz Lowenstein. 1915

⁵ Вулворт-билдинг (англ. *Woolworth Building*) — небоскреб в Нью-Йорке, построенный в 1910—1913 гг. как штаб-квартира розничной сети F. W. Woolworth Company, позднее принадлежавшей светской львице Барбаре Хаттон. Самое высокое здание мира в 1913—1930 гг.

5. Исследования Ли де Фореста в Федеральной телеграфной компании

В начале 1911 г. на западное побережье США, в Калифорнию, приехал Ли де Форест для осуществления планового контроля установки искровых радиостанций с разрядниками Вина на двух военных транспортных кораблях. Один из них, *Beauford*, находился в Сиэтле, а другой *Dix* — в Сан-Франциско. Пока шла установка аппаратуры, де Форест продолжал свои эксперименты с передачей голоса во временной лаборатории в Сан-Франциско. Он был убежден, что технология вакуумных ламп, которую он разрабатывал, поможет преодолеть зависимость от азбуки Морзе и позволит передавать голосовые сообщения по воздуху. Во время работы Форест получил известие о том, что его нью-йоркские партнеры по радиотелефонной компании *De Forest Radio Telephone Company* арестованы за мошенничество с почтой и акциями, а также за то, что разместили необеспеченные акции на сумму \$1507505. Было созвано большое жюри, и компания была объявлена банкротом. Форест находился в удручающем состоянии; к семейным неурядицам, из-за которых он оказался в Калифорнии, прибавились еще и финансовые.

Во время пребывания де Фореста в районе залива Сан-Франциско (англ. *San Francisco Bay Area* или *The Bay Area*) в Пало-Альто⁶ (*Palo Alto*) он познакомился с сотрудниками Федеральной телеграфной компании (*Federal Telegraph Co.*, сокращенно *FTC*, рис. 8), в частности, с ее главным инженером Кириллом Элвеллом (*Cyril Frank Elwell*, 20.08.1884—1963).

Элвелл посчитал, что Форест будет полезен *FTC*. Он убедил Бич Томпсона взять Фореста на работу и предоставить ему лабораторию с двумя помощниками, а также свободу действий для развития своих идей. *FTC* выкупила часть оборудования обанкротившейся компании де Фореста и в июле 1911 г. он стал руководителем исследовательской лаборатории.

Форест был специально нанят, чтобы усовершенствовать систему Паульсена, в частности, попытаться разработать приемлемый детектор на вакуумной лампе для замены не слишком эффективного тиккера при приеме сигналов от дугового передатчика. Для этих целей первые образцы аудионов были приобретены у *H. W. MacCandless & Co.* в Нью-Йорке, в то

⁶ Пало-Алто является историческим центром американской Кремниевой долины. К нему при-
мыкает кампус Стэнфордского университета. Город является местом рождения и штаб-квартирой
компаний, в частности, *Hewlett-Packard*, *Xerox*, *Apple*, *Facebook*, *VMware* и *Tesla Motors*. Здесь нахо-
дится академическое издательство *Annual Reviews*. Около дома 218 по улице Ченнинг установлен
памятный знак: «Здесь находилась лаборатория Федеральной телеграфной компании, в которой рабо-
тал знаменитый американский инженер Ли де Форест - изобретатель триода».

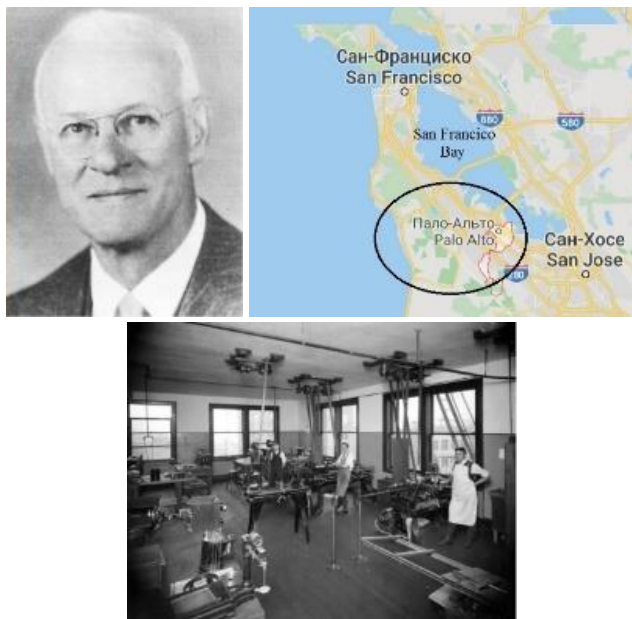


Рис. 8. Кирилл Элвелл (1947 г.), карта района залива Сан-Франциско и цех Федеральной телеграфной компании в Пало-Альто. Темный круглый объект в нижнем левом углу представляет собой небольшой федеральный дуговой передатчик.

Фото из коллекции Перхама, история Сан-Хосе.

Fig. 8. Cyril Elwell (1947), a map of the San Francisco Bay Area and the workshop of the Federal Telegraph Company in Palo Alto. The dark round object in the lower left corner is a small federal arc transmitter. Photo from the collection of Perham, the history of San Jose

время единственного производителя трехэлектродных электронных ламп. Позже фирма в Окленде начала их производство по техническим заданиям де Фореста.

Для реализации поставленной задачи в группу де Фореста включили сотрудников компании Чарльза Логвуда (*Charles Veyne Logwood*, 1882—1927) и Кирилла Ф. Элвелла (*Cyril F. Elwell*), рис. 9. Логвуд был радиолюбителем; у него не было специального технического образования, но он был прирожденным экспериментатором. Его первым достижением в лаборатории стала разработка роторного тиккер-детектора, стоимость которого была в несколько раз меньше стоимости сложного вибрирующего устройства с золотой проволокой, привезенного из Дании. Логвуд просто придал шкиву игрушечного электродвигателя за 1,25 доллара шероховатость и расположил на нем небольшой кусок стальной проволоки так, чтобы он проходил по шероховатой канавке. В результате появился тиккер, который

давал более сильные и лучше звучащие сигналы, чем гораздо более дорогой тип, который использовался до этого. Сначала между де Форестом и Логвудом возникали некоторые недоразумения, но вскоре отношения наладились. Форест со временем начал уважать изобретательность Логвуда и его готовность опробовать новые идеи. Они сумели вместе сделать два самых важных открытия во время пребывания в стенах лаборатории, и даже после того, как покинули Федеральную компанию, они работали вместе и получили несколько совместных патентов.

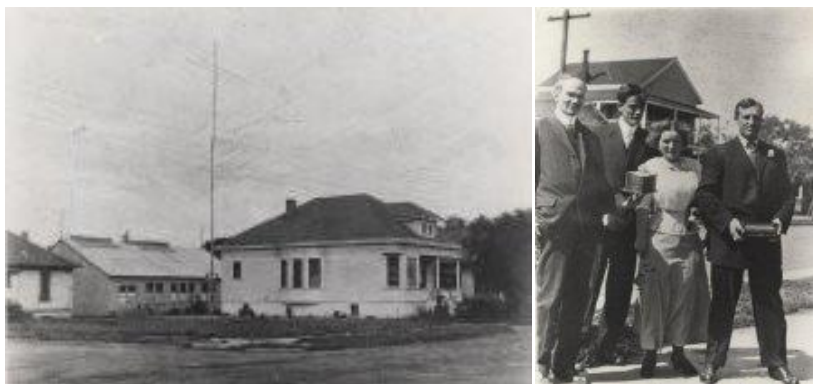


Рис. 9. Дом на Эмерсон-стрит 913 (Пало-Альто, Калифорния), где находилась лаборатория Федеральной телеграфной компании. Исследовательская группа компании, слева направо: Ли де Форест, Герберт Ван Эттен и Чарльз В. Логвуд с миссис (Джин) Логвуд. Пало-Альто, Калифорния. Начало 1912 г. [5].

Fig. 9. House at 913 Emerson Street (Palo Alto, California), where the FTC laboratory was located. Company Research Team, left to right: Lee de Forest, Herbert Van Etten, and Charles W. Logwood with Mrs. (Jean) Logwood. Palo Alto, California. Early 1912 [5]

6. Изобретение каскадного лампового усилителя звуковой частоты

Вскоре направление исследований лаборатории де Фореста было изменено. Б. Томпсон 25 января 1912 г. получил письмо от Джона Хаммонда младшего, в котором сообщалось об успешных испытаниях железного контроллера (*iron controller*, это одно из наименований ионного контроллера) с надеждой его внедрения в беспроводную систему в Соноре⁷ [6]. Это и стало, вероятно, отправным моментом, который побудил Томпсона обратиться к де Форесту с просьбой возобновить исследования по развитию аудиона в качестве усилителя электрических сигналов в телефонных линиях. После всех жизненных неудач фортуна повернулась ли-

⁷ Сонора (англ. Sonora), город в штате Калифорния.

цом к Ли де Форесту. По этому поводу он, однажды в феврале 1912 г. заметил: «Каждое падение приносит надежду; в то время как новое здоровье, неизвестная физическая сила, обновленная молодость растут во мне. Это Калифорния, а мне всего 38!» [7].

Предложение Б. Томпсона было принято де Форестом, так как в случае успеха оно сулило ему определенную коммерческую выгоду. Он располагал информацией о том, что AT&T ищет хороший звуковой усилитель для предполагаемой телефонной линии между Нью-Йорком и Сан-Франциско. Этот амбициозный проект AT&T обещала осуществить к 1915 г.

Весной 1912 г. к группе де Фореста присоединился новый сотрудник, Герберт ван Эттен (*Herbert B. Van Etten*). Ван Эттен ранее работал в телефонной компании в Нью-Йорке и был знаком с электрическими устройствами звуковой частоты и схемами их построения. В мае—июне 1912 г. Герберт ван Эттен под руководством де Фореста начал эксперименты с трансформаторами звуковой частоты с целью их применения для получения лучшего согласования выхода детекторного радиоприемника с головными телефонами.

Вскоре из Нью-Йорка де Форест получил несколько аудионов. Это позволило ему уже летом 1912 г. начать серию экспериментов по использованию аудиона в качестве усилителя электрических сигналов. Сначала был построен усилитель на одном аудионе. На рис. 10 представлена схема первого экспериментального звукового усилителя, разработанного под руководством доктора Ли де Фореста в лаборатории Федеральной компании в Пало-Альто в 1912 г. Эта схема послужила важным документом, когда позже в судах возник вопрос о патентных правах на изобретение усилителя. Это помогло установить тот факт, что все предыдущие работы были выполнены в Федеральной лаборатории и это впоследствии позволило Федеральной компании получить права на изобретение усилителя [8].

Однажды во время экспериментов, соединив выход одного аудиона со входом другого, он получил более громкое звучание, чем от одного одноклампного усилителя. Это натолкнуло де Фореста на разработку каскадных усилителей. Подход в конструировании мощных усилителей звуковой частоты в виде каскадов, предложенный де Форестом, в дальнейшем стал использоваться в радиотехнике.

Для согласования каскадов усилителя между собой де Форест использовал низкочастотные трансформаторы, известные еще из электротехники. Помимо двухкаскадных усилителей были разработаны еще более мощные трехкаскадные усилители на аудионах.

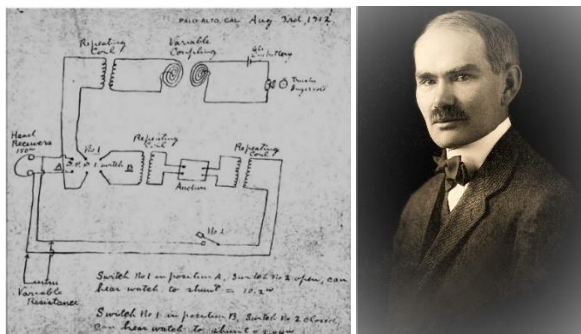


Рис. 10. Схема первого экспериментального звукового усилителя Ли де Фореста, разработанного в лаборатории Федеральной компании в Пало-Альто [8]. 1912 г.
Ли де Форест в возрасте 37 лет (1910 г.).

Fig. 10. Circuit of the first experimental audio amplifier Lee de Forest, developed in the laboratory of the Federal Company in Palo Alto [8]. 1912. Lee de Forest at the age of 37 (1910)

В усилителях де Фореста установка величины смещения на сетках аудионов отличалась от технологии Фрица Левенштейна. Смещение устанавливалось подбором анодного напряжения по минимуму звуковых искажений на выходе усилителя. Это производилось переменными резисторами со ступенчатым регулированием, которые были установлены в каждом каскаде усилителя. Для этих целей позже стали еще использовать переменный резистор в цепи накала.

Величину громкости воспроизведения звуковых сигналов конструируемых усилителей де Форест определял субъективно. Для этого он устанавливал акустический излучатель на подоконнике открытого окна лаборатории, а сам удалялся от него до максимальной границы слышимости. В первых конструкциях двухкаскадных усилителей величина анодного напряжения составляла 50—60 В и коэффициент усиления был ненамного больше однокаскадного усилителя. Причина этого, как оказалось, была связана с низким вакуумом аудионов. Тогда де Форест собрал все имеющиеся у него аудионы и поехал в Сан-Франциско к производителю рентгеновских трубок. Ему удалось получить намного более высокий вакуум в аудионах, чем было ранее, и тем самым поднять анодное напряжение в усилителе до 200 В. В результате этих экспериментов был разработан двухкаскадный усилитель с приемлемыми характеристиками, которым де Форест очень гордился, рис. 11.

Наличие двухкаскадного звукового усилителя позволило компании заняться разработкой беспроводного приемника, который мог бы записывать высокоскоростные «входящие» сигналы беспроводной телеграфии от

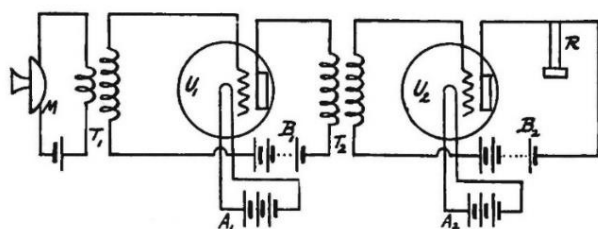


Рис. 11. Принципиальная схема двухкаскадного усилителя звуковой частоты на аудионах де Фореста и его общий вид в виде законченной конструкции. 1914 г.

Fig. 11. Schematic diagram of a two-stage audion frequency amplifier at de Forest's audions and its general appearance in the form of a finished design. 1914

дугового передатчика. В конечном итоге проблема Логвудом была решена [9]. Для этого он использовал свою конструкцию тиккера роторного типа и ставший уже типовым двухкаскадный ламповый усилитель, рис. 12. В схеме звуковой сигнал от тиккера через трансформатор поступал на вход лампового усилителя, где происходило усиление сигнала. После этого сигнал поступал на единственный чувствительный приемник R (телефон). Телефон располагался напротив микрофонного передатчика M , диафрагма которого была настроена на диафрагму приемника, что позволило получить наибольшую чувствительность. Микрофон был соединен последовательно с батареей и небольшой телефонной индукционной катушкой C (рис. 12), вторичная обмотка которой была соединена с телеграфом Паульсена. На телеграф происходила запись звукового сигнала. По-существу телефон R и микрофон M представляли собой телефонный ретранслятор.

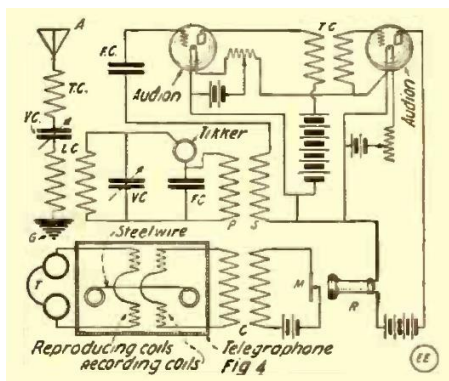


Рис. 12. Подключение аудионного усилителя звука и звукозаписывающего телеграфона [9].
 Чарльз В. Логвуд.

Fig. 12. Hook-up for Audion Amplifier and Telegraphone Recorder [9]. Charles V. Logwood

Из-за нечистых звуков, издаваемых тиккером, было невозможно принимать сигналы со скоростью более семидесяти пяти слов в минуту. Это было вызвано следующими факторами: сигналы, поступающие со скоростью семьдесят пять слов в минуту, легко записывались на движущуюся стальную проволоку телеграфона, но для того, чтобы воспроизвести их с нормальной (тридцать или тридцать пять слов в минуту) скоростью, необходимо было медленно протягивать стальную проволоку, и при этом тон сигналов был не очень четким. Причиной этого являлись резкие звуки, возникающие в телеграфоне приемника из-за медленной скорости движущегося стального провода. Однако это было быстро устранено путем использования более высокого тона, нежели тон «разрывающей бумаги» тиккера.

Федеральная телеграфная компания успешно работала с системой передачи информации, в которой был установлен приемник по схеме рис. 12 в течение всего сезона, но сигналы передавались с несколько меньшей скоростью, чем семьдесят пять слов в минуту. В дальнейшем для приема сигналов от дугового передатчика был разработан трехкаскадный звуковой усилитель.

В самый интенсивный момент разработок в Пало-Альто в 1912 г. приехали федеральные агенты, чтобы арестовать де Фореста в связи со схемой мошенничества с акциями. Из сложной ситуации помог выйти Б. Томпсон, который внес залог в 10 000 долларов, что позволило де Форесту продолжить свою работу.

В сентябре 1912 г. *FTC* отправила первый автономный трехступенчатый усилитель в Вашингтон, чтобы продемонстрировать его военно-морскому флоту США, рис. 13. Этот усилитель был собран в деревянном корпусе, внутри которого находились: три аудиона, переключатели, резисторы, трансформаторы, плоская гальваническая батарея и клеммы для подключения внешней батареи для питания нитей накала ламп. Доктор Луис Остин (*Louis Austin*), возглавлявший тогда военно-морскую радиотелеграфную лабораторию США, отнес усилитель в бюро стандартов и измерил его усиление. С помощью несовершенных методов, доступных в то время, было определено, что трехкаскадный усилитель усиливает сигнал в 120 раз.

В октябре 1912 г. Ли де Форест привез один из своих усилителей звуковой частоты в Нью-Йорк, чтобы показать его своему другу Дж. Стоуну. Дж. Стоун с 1890 г. по 1899 г. работал в *Bell Telephone Co.* в Бостоне (штат Массачусетс), в частности, лаборатории исследований и разработок экспериментального отдела. После ухода из компании Стоун работал в Бостоне в качестве независимого инженера-консультанта, но наряду с этим он сохранил хорошие отношения с *AT&T* и часто оказывал ей услуги в ка-

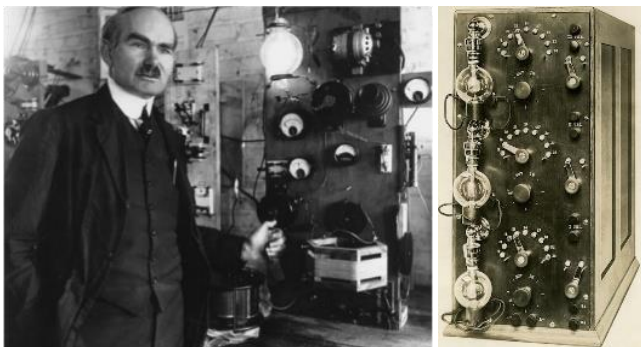


Рис. 13. Ли де Форест, Пало-Альто (1915 г.) и общий вид трехкаскадного звукового усилителя на аудионах (1912 г.).

Fig. 13. Lee de Forest, Palo Alto (1915) and a general view of a three-stage audio amplifier at audions (1912)

честве «консультанта и эксперта в патентных вопросах». Аудионный усилитель де Фореста произвел сильное впечатление на Дж. Стоуна. Он увидел в устройстве большой потенциал для телефонной связи, и пообещал организовать его презентацию для инженеров и менеджеров *AT&T*.

Это то, к чему стремился Ли де Форест. В случае успеха открывался путь практического внедрения аудиона в грандиозный коммерческий и технический проект, что сулило немалые финансовые выгоды для всей цепочки Ли де Форест — *AT&T*. С другой стороны, подходило к концу время одиночек изобретателей, ярким представителем которых был Ли де Форест, на смену им должны были прийти научные коллективы (школы), способные решать масштабные научно-технические проекты. Но самое главное заключалось в том, что общество благодаря научно-техническому прогрессу поднималось на новую ступень развития. Эра информатизации набирала обороты, расстояния сокращались, а время ускорялось.

Ли де Форест покинул *FTC* в 1913 г., чтобы основать еще одну свою компанию *Radio Telegraph & Telephone Company*, которая просуществовала недолго. Компания располагалась в центрально-западном районе Бронкса Нью-Йорка.

7. Бизнес De Forest Radio Telephone & Telegraph Company

В 1916 г. Военным ведомством России были сделаны закупки радиоаппаратуры в разных странах мира [10]. В США у *De Forest Radio Telephone & Telegraph Co.* были закуплены не только сами аудионы, но и аппаратура на них.

В морском ведомстве России использовались усилительная лампа *Audion amplifier* (двойной аудион) и детекторная лампа *Audion detector*. Лампа *Audion amplifier* имела две дугообразно изогнутые нити накала конструкции Хадсона (*Hudson*). Детекторная лампа *Audion detector*, использовавшаяся как детектор, отличалась от описанной выше тем, что в ней нагревалась только одна нить, а другая запасная нить подключалась при необходимости. В *Audion detector* анод и сетка были расположены лишь с одной стороны от нитей накала и их устройство было такое, как у *Audion amplifier*. На рис. 14 представлены анодно-сеточные характеристики *Audion detector* при анодном напряжении 30 В, снятые в Радиотелеграфном кабинете Офицерской электротехнической школы в Санкт-Петербурге.

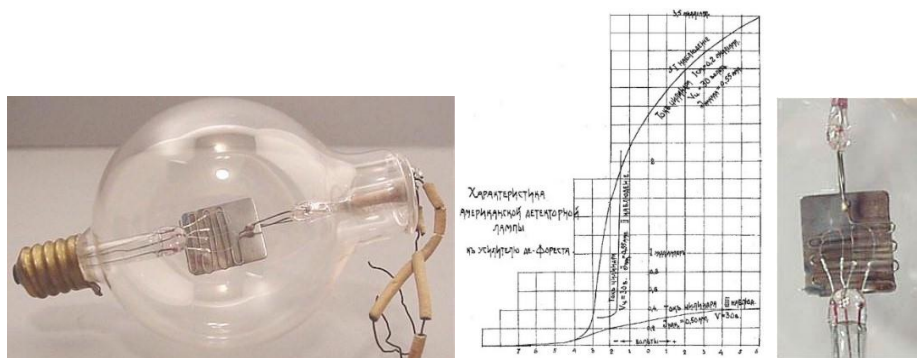


Рис. 14. Общий вид *Audion detector* Ли де Фореста и его анодно-сеточные характеристики (1917 г.) [10].

Fig. 14. General view of the “Audion detector” by Lee de Forest and its anode-grid characteristics (1917) [10]

Среди приобретенной в США радиоаппаратуры были, в частности, детекторные радиоприемники с кристаллическим детектором и трехкаскадным усилителем звуковой частоты на двойных аудионах, рис. 15. Радиоприемники конструкции де Фореста перед поставкой в войска были протестированы в Радиотелеграфном кабинете Офицерской электротехнической школы подпоручиком Александром Тихоновичем Угловым, исполняющим обязанности заведующего электротехническим кабинетом, при участии подпоручика Магнушеского, командующего 1-й радиотелеграфной ротой запасного электротехнического батальона.

Усилитель звуковой частоты Ли де Фореста имел три каскада усиления на двойных аудионах. Связь между каскадами была трансформаторная. Выходной сигнал с детектора радиоприемника поступал на первичную обмотку трансформатора, а уже с вторичной его обмотки — на сетку

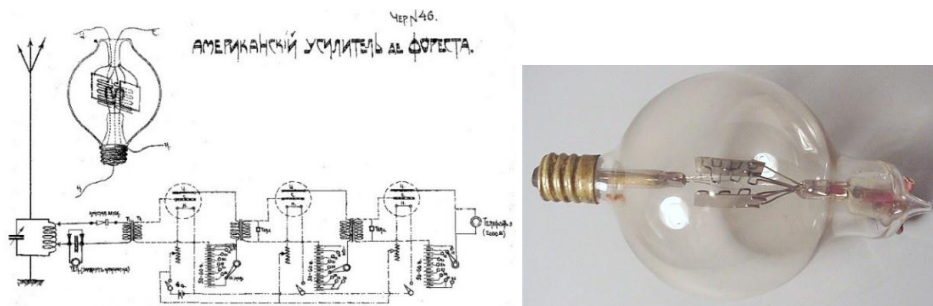


Рис. 15. Принципиальная схема детекторного радиоприемника с трехкаскадным усилителем звуковой частоты конструкции Ли де Фореста, который поставлялся в Россию. 1916 г. [10]. Аудион «двойное крыло» с вольфрамовыми нитями. 1915 г.

Fig. 15. Schematic diagram of a detector radio with a three-stage sound frequency amplifier designed by Lee de Forest, which was delivered to Russia. 1916 [10]. Double wing audion with tungsten filaments 1915

первой лампы усилителя. Для накаливания нитей использовалась батарея аккумуляторов напряжением 6 В, общая для всех трех ламп. Ток накала каждой лампы регулировался реостатом на глаз по силе свечения нити.

Анодное напряжение для каждой лампы подавалось от отдельной батареи, состоящей из 36 сухих элементов общим напряжением около 60 В. Анодная батарея имела 8 выводов, которые использовались для изменения анодного напряжения. Путем ступенчатого изменения анодного напряжения и плавного изменения накала нити реостатом удавалось найти точку на прямолинейном участке характеристики лампы, при которой потенциал на сетке становился нулевым. Нормальная работа лампы соответствовала анодному напряжению величиной 18—24 В. Срок службы новой анодной батареи составлял 8—12 месяцев. При регулировке необходимо было следить за тем, чтобы в лампах не возникало синего свечения, так как это могло привести к разрушению нити. В этих случаях рекомендовалось уменьшить накал или анодное напряжение, или и то, и другое. Точная регулировка на силу звука производилась одним реостатом накала, когда анодное напряжение было уже установлено.

Для прослушивания радиосообщений использовались телефонные наушники сопротивлением не менее 2000 Ом, которые включались непосредственно в цепь анода выходной лампы. В радиоприемнике предусматривалась работа приемника без звукового усилителя. Для этого в цепи детектора имелись гнезда для подключения наушников. Эти гнезда при работе лампового усилителя накоротко замыкались перемычкой.

8. Заключение

Аудион де Фореста вначале использовался в качестве детектора. Инновационные технологии, разработанные Фрицем Левенштейном для конструирования усилителей электрических сигналов, позволили собрать первые усилители звуковой частоты на аудионах [11]. В дальнейшем они стали основой генераторов высокой частоты.

Благодаря аудионному усилителю, работающему в режиме усиления электрических сигналов, удалось подключить к радиоприемнику громкоговоритель. Это позволило прослушивать передачи целой аудитории, в то время как детекторный приемник давал возможность слушать на наушники и только при полной тишине. Длительное время для получения требуемого смещения на сетке вакуумного триода использовались гальванические элементы, пока их не потеснил в некоторых каскадах радиоприемников гридлик Ли де Фореста (1920 г.).

Нужно отметить, что разработка звукового усилителя в *FTC* мало что дала компании в краткосрочной перспективе, она стала существенной в 1920-х годах, когда растущее доминирование технологии вакуумных ламп заставило *FTC* перейти с дуги Паульсена на системы вакуумных электронных ламп.

Список литературы

1. Bronk O. von. Patent für DRP271059 vom 3. September 1911 über eine “Empfangseinrichtung für drahtlose Telegraphie”.
2. Stone J. S. & Cabot S. Space Telegraphy. Patent US884110A. Application Filed Jan. 4.1907. Patented Apr. 7, 1908.
3. Discussion of “A History of Some Foundations of Modern Radio-Electronic Technology” // Proceedings of the IRE. 1959. No. 7. P. 1254.
4. Lowenstein Fritz. Telephone relay. Patent US12478717A. Application Filed Apr. 24, 1912. Renewed Apr. 26, 1917. Patented July 3, 1917.
5. History San Jose Research Library. History San Jose Online Catalog. URL: <https://calisphere.org/item/d4cd7ae1bdf0d0223fcf60bdce1c071/> (27.11.2020).
6. Discussion of “A History of Some Foundations of Modern Radio-Electronic Technology” // Proceedings of the IRE. 1959. No. 7. P. 1255.
7. De Forest’s diary, February 12, 1912; entry in his notebook, April 22, 1912, Papers of Lee de Forest, Library of Congress, Washington DC.
8. Mann F. J. Federal Telephone and Radio Corporation. A Historical Review: 1909–1946 // Sparks. 1974. Vol. 3. No. 11. P. 17.
9. Logwood C. V. High Speed Radio Telegraphy // The Electrical Experimenter. 1916. No. 6. P. 99–100.
10. Углов А. Е. Атлас чертежей к курсу усилительные лампы в телеграфии и телефонии без проводов. Петроград, 1917. 38 с.

11. Pestrikov Victor M. The invention of a tube audio amplifier // ITM Web of Conferences. Vol 30. 16002 (2019). URL: https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2019/07/itmconf_crimico2019_16001.pdf (01.12.2020).

Информация об авторе

Пестриков Виктор Михайлович, д. т. н., профессор Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-0466-881X.

Information about the author

Viktor M. Pestrikov, Dr. Tech. Sc., Professor, St. Petersburg State University of Film and Television, St. Petersburg, Russian Federation. ORCID 0000-0003-0466-881X.

УДК 621.37-621.39(091)

Ранние работы Ли де Фореста по беспроводной телеграфии

Пестриков В. М.

*Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения
ул. Правды, д. 13, Санкт-Петербург, 191119, Российская Федерация
pvm205@yandex.ru*

Получено: 12 февраля 2021 г.

Отрецензировано: 21 февраля 2021 г.

Принято к публикации: 22 февраля 2021 г.

Аннотация: Рассмотрены научно-технические исследования американского радиоинженера Ли де Фореста на рубеже 19 и 20 вв. Показан научный поиск де Фореста в стремлении найти надлежащее устройство для замены ненадежного когерера. Подробно рассмотрены его разработки в области электролитических детекторов. Уделено внимание коммерциализации проектов де Фореста и деятельности компаний по их реализации. Отмечен юридический спор между Фессенденом и Форестом о приоритете изобретения оригинальной конструкции электролитического детектора. Представлены различные научные теории, в том числе де Фореста, объясняющие принцип работы электролитического детектора. В этом контексте проанализирован доклад де Фореста на Международном электротехническом конгрессе в Сент-Луисе в 1904 г.

Ключевые слова: беспроводная телеграфия, пластина Шефера, электролитический детектор, Ли де Форест, ответчик, Авраам Уайт, Всемирная Луизианская выставка 1904 г.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. Ранние работы Ли де Фореста по беспроводной телеграфии // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 4. С. 456—507.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Пестриков, В. М. Ранние работы Ли де Фореста по беспроводной телеграфии / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 4. — С. 456—507.

Lee de Forest's early work on wireless telegraphy

V. M. Pestrikov

St. Petersburg State University of Film and Television
13, Pravda Str., St. Petersburg, 191119, Russian Federation
pvm205@yandex.ru

Received: February 12, 2021

Peer-reviewed: February 21, 2021

Accepted: February 22, 2021

Abstract: *The scientific and technical research of the American radio engineer Lee de Forest at the turn of the 19th and 20th centuries is considered. De Forest's scientific quest to find an appropriate device to replace an unreliable coherer is shown. His developments in the field of electrolytic detectors are considered in detail. Attention is paid to the commercialization of de Forest's projects and the activities of companies for their implementation. A legal dispute between Fessenden and Forest over the priority of inventing an original electrolytic detector design is noted. Various scientific theories are presented, including de Forest, explaining the principle of the electrolytic detector. In this context, a report by de Forest at the International Electrical Congress in St. Louis in 1904 is analyzed.*

Keywords: *wireless telegraphy, Schafer's plate, electrolytic detector, Lee de Forest, defendant, Abraham White, 1904 Louisiana Purchase Exposition.*

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov "Lee de Forest's early work on wireless telegraphy," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 456–507, 2020. (In Russ.).

1. Введение

Коммерциализация радиосвязи на рубеже XIX и XX вв. значительно ускорила ее развитие. 20 июля 1897 г. в Лондоне была основана компания *Wireless Telegraph and Signal Company Limited* для продвижения изобретений итальянского радиотехника Гульельмо Маркони. В марте 1900 г. название компании было изменено на *Marconi's Wireless Telegraph Company, Limited*, как правило, она именовалась *British Marconi*.

В 1900 г. практические возможности радиосвязи продемонстрировал русский ученый А. С. Попов во время спасательной операции броненосца «Генерал-адмирал Апраксин» в Финском заливе Балтийского моря. Для этих целей была построена информационная радиолиния между островами Гогланд и Куутсало, которая стала первым мировым примером примене-

ния радиосвязи для нужд общества. Для передачи информации была задействована искровая система радиосвязи с кодировкой сигналов азбукой Морзе (телеграф). Броненосец «Генерал-адмирал Апраксин» был спасен 12 апреля 1900 г. благодаря новым технологиям передачи информации на большие расстояния без проводов по системе А. С. Попова и технической поддержке ледокола «Ермак». Стоимость всей спасательной операции составила третью часть стоимости самого броненосца.

После этого и в других странах появились компании беспроводной телеграфии, которые оказались более эффективными конкурентами в этой области, чем, например, *Marconi Wireless*. Это способствовало прогрессу в развитии систем беспроводной телеграфии. Примером ускорения развития радиотехнологий может служить искровой передатчик. Этот передатчик, едва успев утвердиться в качестве основного, если не единственного генератора радиоволн, вынужден был потесниться с появлением дугового передатчика и генератора переменного тока. Совершенствование радиосистем связи не ограничивалось передающим оборудованием, большой успех был достигнут и в приемной радиоаппаратуре. Вскоре после осуществления Маркони трансатлантической связи, когерер был заменен магнитным детектором.

Реджинальд Фессенден, Ли де Форест и многие другие экспериментаторы давно поняли недостаток когерера и работали над изобретением улучшенного, более надежного приемного устройства. Разработка компаний *Fessenden* электролитического детектора и изобретение де Форестом детектора *Responder* могут рассматриваться как параллельные направления исследований, в результате которых два экспериментатора одновременно пришли к похожим результатам, которые позволили сконструировать разные версии теперь известного контактного детектора.

2. Путь в науку

Заменить ненадежный когерер в радиоприемнике другим по своей природе устройством предпринимал в начале 19 века молодой доктор философии (Ph.D in physics) американец Ли де Форест (Lee de Forest, 26.08.1873-30.06.1961), выпускник Йельского университета¹, рис. 1.

¹ Йельский университет (англ. *Yale University*) — частный исследовательский университет США. Расположен в Нью-Хейвене, штат Коннектикут. Третий из девяти колониальных колледжей, основанных до войны за независимость. Входит в «Лигу плюща» (англ. *The Ivy League*) — сообщество восьми наиболее престижных частных американских университетов. Вместе с Гарвардским и Принстонским университетами составляет так называемую «Большую тройку».



Рис. 1. Общий вид Йельского университета в начале XX века и Ли де Форест после защиты кандидатской диссертации (*Ph.D in physics*) в 1899 г.

Fig. 1. General view of Yale University at the beginning of the 20th century and Lee de Forest after receiving his doctorate. (*Ph.D in physics*) in 1899

Отец будущего американского изобретателя усилительной трехэлектродной электровакуумной лампы Ли де Фореста (*Lee de Forest*, 26.08.1873—30.06.1961) был священником Первой конгрегационной церкви² в городе Каунсил Блафс (штат Айова). Он хотел, чтобы сын после окончания школы связал свою карьеру с получением духовного сана. Однако Ли настоял на занятиях наукой. Осенью 1891 г. он поступил в Академию Маунт-Хермон (*Mount Hermon Academy*) в Нортфилде, штат Массачусетс (*Northfield, Massachusetts*), чтобы подготовиться к обучению в Шеффилдской научной школе³ при Йельском университете (*Sheffield Scientific School of Yale University*). В том же году для улучшения ясности изложения своих мыслей и написания писем Ли де Форест начал вести дневник, в который он записывал свои размышления, хотя и спорадически, в течение более чем полувека. На протяжении всей своей жизни он писал стихи, и его самая ранняя из дошедших до нас поэтических попыток была ода в честь его перехода от коротких штанов к длинным [1].

² Конгрегационная модель (большинство баптистских церквей; харизматические церкви). «Конгрегация» — это община, то есть поместная церковь. Для конгрегационного управления характерно, что поместная церковь автономна: нет внешней иерархии, которая диктовала бы церквям свои условия. Каждая церковь является самоуправляемой.

³ Научная школа Шеффилда была основана в 1847 г. как школа Йельского колледжа в Нью-Хейвене, штат Коннектикут, для обучения естествознанию и инженерии. Первоначально называвшаяся Йельской научной школой, она была переименована в 1861 г. в честь Джозефа Э. Шеффилда, руководителя железной дороги.

В 1893 г. Ли де Форест поступил в Шеффилдскую научную школу. Это было одно из немногих учебных заведений США, дававших перво-классное научное образование. Весной 1894 г. сербский изобретатель Никола Тесла читал в Йельском университете лекцию об электричестве. Де Форест посетил эту лекцию и купил книгу Теслы. Прослушав лекцию, он ушел с нее, полагая, что электричество — его будущее. После этого он сделал запись в дневнике: «Начал работать: лаборатория 16 часов, лекции — 7 часов. Математика у Кларка, Пирпонта и Гиббса, великого человека, с которым я хочу быть вместе из-за его характера, лекций и мыслей. Написал Тесле, просил совета; он поздравляет меня с тем, что Гиббс уделяет мне внимание. Я сказал Гиббсу, что я и Тесла задумали».

В сентябре 1896 г. Форест закончил бакалавриат за три года. Одно-классники называли его «самоуверенным» (англ. *nerviest*), но они также называли его и «невзрачным» (англ. *homeliest*). После окончания университета де Форест сделал такую запись в своем дневнике: «Дни нашей подготовки прошли. Быть может, она не была совершенной, но мы прожили эти дни, и теперь то, как мы сможем противостоять жизненным затрещинам и оплеухам, покажет, что стоили эти дни. И как ни сложится судьба, ты найдешь верные сердца в выпуске девяносто шестого года, которые сохранят любовь и преданность Шеффильду и Йелю» [2].

За время учебы в научной школе Ли де Форест проявил себя как скромный, трудолюбивый и очень способный к науке студент. Это не мешало ему в будущем стать большим жизнелюбом и жениться официально четыре раза. Как говорится, скромность бывает обманчивой. Однако, как показывает жизнь ученых, их успехи на научном поприще без любви к женщине вряд ли возможны, хотя бывают и исключения.

Ли де Форест перечитал несколько раз книгу Теслы и решил поступать в аспирантуру по электротехнике. Он стремился попасть в аспирантуру Йельского университета к профессору Уилларду Гиббсу (англ. *Josiah Willard Gibbs*, 11.02.1839—28.04.1903), рис. 2. Еще будучи студентом последнего курса Шеффилдской научной школы, Форест проникаться таким же восхищением к Гиббсу, которое проявляли к нему в университете профессора и преподаватели, а также его бывшие ученики.

В последующем Форест отметил в своем дневнике: «Я понял, что учиться у Гиббса было стремлением благоразумным, а способность следить за его лекциями являлась окончательным испытанием математической одаренности. Поэтому у меня появилось сильное желание следовать примеру своих профессоров, и я твердо решил сидеть у ног Великого Человека Йеля... Я должен заявить со всей страстностью, что решимостью

сделать исследовательскую работу и изобретательство делом моей жизни я целиком обязан вдохновению со стороны Уилларда Гиббса».

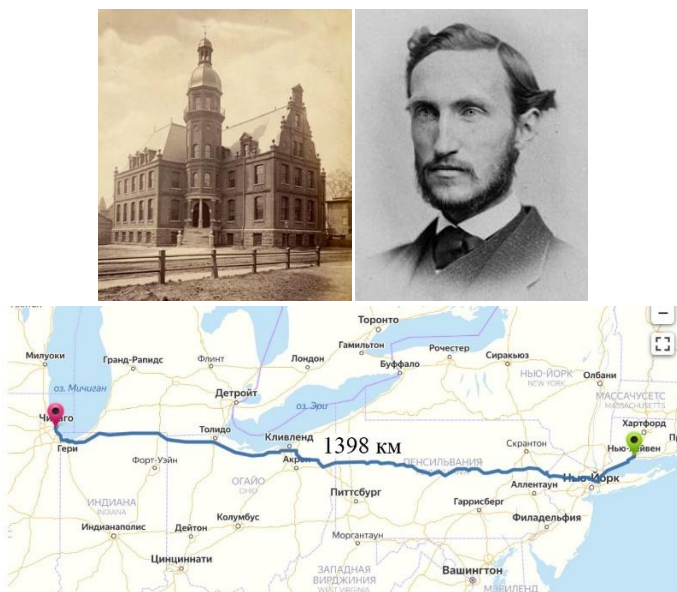


Рис. 2. Слоунская физическая лаборатория Йельского университета, которая находилась с 1882 по 1931 гг. на нынешнем месте колледжа Джонатана Эдвардса. Кабинет Гиббса находился на втором этаже, справа от башни на фотографии. Фото Гиббса в то время, когда он преподавал в Йельском университете. Расположение Нью-Хейвен по отношению к Чикаго, куда уехал Ли де Форест после защиты докторской диссертации.

Fig. 2. Yale's Sloane Physical Laboratory, as it stood between 1882 and 1931 at the current location of Jonathan Edwards College. Gibbs's office was on the second floor, to the right of the tower in the picture. Photo Gibbs during his time as a tutor at Yale. The location of New Haven in relation to Chicago, where Lee de Forest went after defending his doctoral dissertation

Молодой Ли де Форест был принят в аспирантуру к Гиббсону, где познакомился с работами Г. Герца и Г. Маркони, и увлекся изучением распространения электромагнитных волн. Он прочитал книгу Генриха Герца «Электрические волны» на немецком языке. Герц доказал существование электромагнитных волн, сконструировав примитивные передатчик и приемник. Это и предопределило выбор Форестом темы диссертации о «волнах Герца».

В июне 1899 г. он защитил докторскую диссертацию по физике (*Ph.D in physics*) на тему «Отражение герцевых волн от концов двухпроводной линии» (англ. *Reflection of Hertzian Waves from the Ends of Parallel Wires*) [3]. Эта работа считается первой в США докторской диссертацией

по радиосвязи. В экспериментах для диссертации Форест использовал когерер для поиска поляризации в поле вблизи проводов. Стекло́нная трубка, наполовину заполненная крупными медными опилками, помещалась в носик большой цинковой воронки, впаянной в стенку жестяной коробки. Гальванометр, сухой элемент и графитовое сопротивление около 150 кОм были экранированы, оставлено было только небольшое отверстие для считывания показаний в зеркале. Защищенный таким образом когерер реагировал только на волны от параллельных проводов, расположенных рядом.

По длине проволо́к Лехера не было обнаружено абсолютно никаких поляризованных смещений, независимо от того, лежал ли когерер в плоскости двух параллельных прово́лок или в одной перпендикулярной к ней и на одинаковом расстоянии от обеих прово́лок, и был ли когерер близко к или далеко от них. В работе отмечено, что очень многое может быть определено в отношении точной природы поля в окрестностях проводов с помощью такого использования когерера, но только при разработке надлежащих экранов, анализаторов, резонаторов и т. д., хотя в том виде, в котором он использовался, можно получить лишь приблизительный количественный результат. Форест сделал вывод, что когерер является неприемлемым индикатором, особенно для любой системы, в которой использовались незатухающие волны. Для прогресса в этой области необходима другая конструкция волноуказателя, чем он и занялся в дальнейшем.

После защиты докторской диссертации, Ли де Форест стремился попасть на работу к Маркони или Тесла. Он написал письмо Гульельмо Маркони, а затем Николе Тесла, с просьбой стать их помощником. «С тех пор как я впервые начал работать с электрическими волнами, — писал он Маркони, — я стремился сделать это исследование делом всей своей жизни». Мечта Фореста стать сотрудником у Н. Теслы или Г. Маркони не воплотилась в реальность, ни один из них не ответил на его письма и тогда он поехал искать счастье в Чикаго, рис. 2.

3. Выбор научного направления

В августе 1899 г. Ли де Форест переехал в Чикаго (штат Иллинойс) и устроился на работу в отдел генераторов постоянного тока *Western Electric Company* (WE или WECO) производственного подразделения *American Telephone & Telegraph* (AT&T). После этого отдела он поработал в телефонном секторе, а потом еще и в экспериментальной лаборатории. Зарплата его была маленькой (\$8 в неделю), а рабочий день составлял 10 ч. 15 мин. После напряженных экспериментальных работ на кабельных теле-

фонных линиях, Ли де Форест проводил вечера в библиотеке Джона Крера⁴, рис. 3.

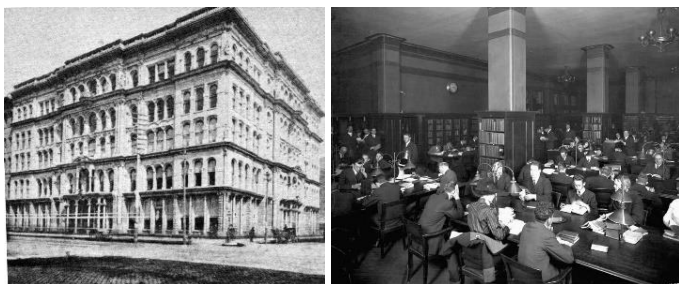


Рис. 3. Дом Зингера II, также известен как *Field Leiter & Co Building*, *Marshall Field Building*. Читальный зал 1 библиотеки Джона Крера, здание Маршалл Филд. Около 1898 г. [4].

Fig. 3. Singer Building II, also known as *Field Leiter & Co Building*, *Marshall Field Building*. The John Crerar Library Reading Room 1 Marshall Field Building. About 1898 [4]

Однажды, Форест, просматривая научные журналы, и в одном из них, немецком журнале *Annalen der Physik und Chemie*, его внимание привлекла статья Альберта Нойгшвендера (нем. *Albert Neugschwender*) об оригинальной конструкции детектора [5]. Простейшая конструкция такого детектора представляла собой зеркальную пластинку с серебряным покрытием. Посередине пластинки, по всей ее длине, со стороны покрытия был сделан бритвой прямой разрез шириной около 0,3 мм со снятием серебра, в результате образовалось два металлических изолированных электрода. Если теперь включить такую пластинку с электродами последовательно в цепь с гальваническим элементом и гальванометром, а потом подышать на прорезь в зеркале, то стрелка гальванометра отклонится и останется. При воздействии на зеркало электрических волн электропроводимость мгновенно исчезает. Электропроводность восстанавливается при отсутствии электрических волн, если рядом с прорезью пластинки находится источник влаги, например, влажная губка. Этот детектор чутко реагировал на волны Герца, когда между двумя металлическими электродами находилась капля воды или спирта. При подключении такого детектора в цепь с гальваническим элементом и телефонной трубкой, было слышно изменение звука при воздействии на него импульсов радиосигнала. Нойгшвендер на описанный «Метод обнаружения электрических волн» получил немецкий патент DE107843. Формула изобретения сформулиро-

⁴ Библиотека Джона Крера (John Crerar Library) — исследовательская библиотека Чикагского университета. Официальный девиз библиотеки выгравирован на ее нынешнем здании: «Не умер тот, кто дал жизнь знанию» (лат. *Non est mortuus qui scientiam vivificavit*).

вана следующим образом [6]: «Метод обнаружения электрических волн исходя из определения изменения сопротивления узкого электролитического разделительного слоя, подключенного к цепи источника постоянного тока, в котором тонкие, высокопроводящие металлические перемычки образуются исключительно под действием постоянного тока, которые затем разрушаются под воздействием волн в результате возникающих искр, а затем образуются снова после прекращения действия волн» [6].

Этим эффектом заинтересовался немецкий физик Эмиль Ашкинасс (*Emil Aschkinass*). Он исследовал этот эффект с помощью микроскопа и увидел, что при прорезании серебряного покрытия микроскопические частицы серебра попадают в узкий разрез, где они при наличии влаги или другой жидкости в результате электролиза образуют перемычки из серебра. В результате воздействия на эту смесь электромагнитных волн происходит их разрушение и уменьшается электрический ток, ранее протекавший через разрез [7].

Устройства, обладающие способностью увеличения сопротивления под воздействием электромагнитных волн, стали называть антикогерерами. В отличие от когерера с металлическим порошком, антикогерер поддерживал свое чувствительное состояние только за счет действия постоянного напряжения в его цепи и восстанавливал свое первоначальное состояние только после получения сигнала. Главная особенность антикогерера состояла в том, что он являлся самовосстанавливающимся устройством и поэтому у него отсутствовал механизм встряхивания.

В мае 1899 г. австро-венгерский физик И. Шефер (*Johann Chr. Schäfer*) в соавторстве с П. Липпольдом (*Paul Lippold*) и Е. Рейсом (*E. Renz*) получили патент DE121663 на приемник для приема электромагнитных волн, в котором использовался антикогерер. Формула изобретения этого патента, следующая [8]:

«Устройство для приема электрических волн для их передачи в видимых признаках, отличающееся тем, что тонкое металлическое покрытие, разделенное узкими промежутками на две или более частей, прикреплено к подходящим непроводящим проводам, которые заключены в сухом виде либо на открытом воздухе, либо в сосудах, которые переносят электричество, проводящие газы заполняются или откачиваются, и когда прибывают волны, их сопротивление проводимости увеличивается, но когда они прекращаются, автоматически возвращается в исходное состояние».

Впоследствии реакцию антикогерера Шефера на воздействие волн Герца стали называть эффектом пластины Шефера (англ. *Schafer's plate*, нем. *Schäfersche Platte*). Первоначально антикогерер Шефера состоял из

стеклянной пластинки с покрытием из станиоля, в которой вырезана одна или несколько очень тонких прорезей. Вскоре вместо станиоля стекло стали покрывать серебром (серебряное зеркало), рис. 4. Ширина прорезей была не более 0,01 мм. Для придания прибору большей прочности и стабильности разрезы покрывали раствором целлулоида в эфире. Нормальное сопротивление такого антикогерера (при длине прорезей 30 мм) составляло 40—50 Ом, которое под действием волн Герца мгновенно возрастало до 5000 Ом и более, но затем, по прекращению электрического импульса, автоматически падало до первоначальной величины. Немецкий экспериментатор Эрих Маркс (*Erich Marx*) изучил этот вопрос более подробно и обнаружил довольно неожиданный результат, заключающийся в том, что сопротивление между двумя секциями не было бесконечно большим, как можно было ожидать [9]. Чувствительность антикогерера Шефера зависела от сорта стекла и размеров разрезов.

Схема приемника с антикогерером Шефера приведена на рис. 4 [10]. Приемник беспроволочной телеграфии, изготовленный по этой схеме, прошел испытания на Адриатическом море [11]. Телеграфирование с его помощью прекрасно удавалось на расстояние до 100 км при антенных мачтах высотой 20 м. Катушка искрового передатчика давала искру 30 см. В приемнике использовалась гальваническая батарея напряжением 4 В.

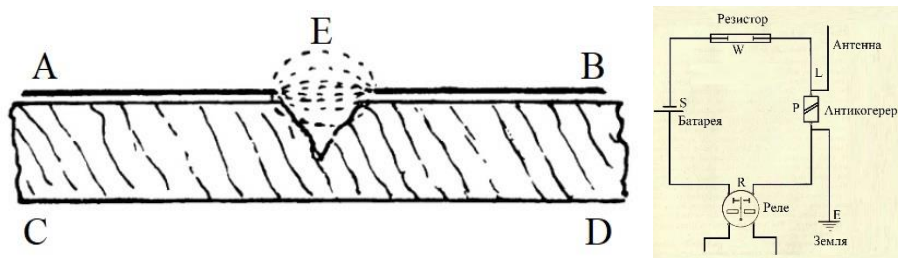


Рис. 4. Устройство антикогерера Шефера (слева): АВ — серебряная пленка; CD — стеклянная пластина; E — линии действия электрических сил в разрезе пленки.

Рисунок антикогерера примерно в 1000 раз больше натурального размера.

Принципиальная схема (справа) радиоприемника беспроволочной телеграфии на антикогерере [10].

Fig. 4. Schaefer anti-coherer device (left): AB – silver film; CD – glass plate; E – lines of action of electric forces in the cut of the film. The drawing of the anti-coherer is roughly 1,000 times natural size. A schematic diagram (right) of a wireless telegraphy radio receiver on an anti-coherer [10]

Эксперименты с приемником Шефера были продолжены Джозефом Тумой (*Joseph Tuma*), профессором физики Имперского университета в Триесте, а также другими исследователями, проведенными между Лавер-

нок-Пойнт (*Lavernock Point*) и Уэстон-сьюпер Мэр (*Weston-super Mare*, 1899 г.), в Бремене (*Bremen*, 1901 г.) и Франкфурте (*Frankfort*, 1902 г.) [12]. Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что этот приемник по чувствительности равен приемнику с обычным когерером. Также было обнаружено, что специально подготовленное стекло дает наилучшие результаты, и рекомендовалось герметичное покрытие для его защиты от воздействия атмосферных осадков. Антикочерер Шефера не получил распространения из-за его нестабильности в работе. Этот волноуказатель, невзирая на его недостатки, благодаря своей простоте конструкции, нашел практическое применение в экспериментальных исследованиях.

4. Антикочерер Фореста — Смайта

Знакомство Ли де Фореста с эффектом пластины Шефера, особенно с возможностью его применения в беспроводной телеграфии, натолкнуло его на мысль о разработке стабильных в работе волноуказателей. Он с энтузиазмом взялся за разработку собственных конструкций самовосстанавливающихся электролитических детекторов. Местом его изысканий стал угол лаборатории *Western Electric Co.*, где он, пробуя различные металлы и жидкости, пытался преодолеть стойкую тенденцию пластины Шефера к «засорению» после короткого периода работы.

Примерно течение года он работал над конструкцией электролитического детектора. В результате было разработано устройство в виде емкости небольшого параллелепипеда с жидкостью, в которой размещались две плоские металлические пластины в виде сэндвича, разделенные тонким слоем жидкости или пористого материала, пропитанного жидкостью. Этому типу детекторов Форест дал название «ответчик» (англ. *responder*). Вместе с коллегой по работе Эдвином Х. Смайтом (*Edwin H. Smythe*), который помогал ему как технически, так и финансово, он подал заявку на получение патента на приемник беспроводного телеграфа на основе электролитического детектора «*responder*», рис. 5 [13]. В полученном патенте нет указания на конкретный тип жидкости и материал электродов. Отмечено, что жидкость, находящаяся между электродами, позволяет устройству работать более стабильно, чем пленка пара, которая из-за испарения требует постоянного обновления. Схема приемника (рис. 5) беспроводного телеграфа является типовой для начала XX в., только в данном случае вместо когерера используется электролитический детектор «*responder*». Это устройство в дальнейшем не получило развития как части работающей системы беспроводной связи. Однако это не означает, что оно явилось мало-значимым изобретением, в данном случае, мы видим формирование стиля

работы Фореста как изобретателя и новатора. Обращает на себя внимание эмпирический метод исследования⁵ Фореста, когда он занимался разработкой этого устройства. В тот период времени ни Форест, ни кто-либо другой, не понимали, как работают электролитические детекторы.

Следует отметить, что де Форест умел читать на нескольких языках. Это позволяло ему проводить систематический поиск соответствующей литературы, и, в частности, с привлечением европейских журналов. Он знал, где искать. Если предположить, что де Форест не извлек из своего обучения в Йеле ничего большего, то его время не было потрачено впустую. Тогда и позже критики могли подвергать сомнению талант Фореста как ученого, но они никогда не обвиняли его в неспособности находиться в курсе актуальных научных публикаций.

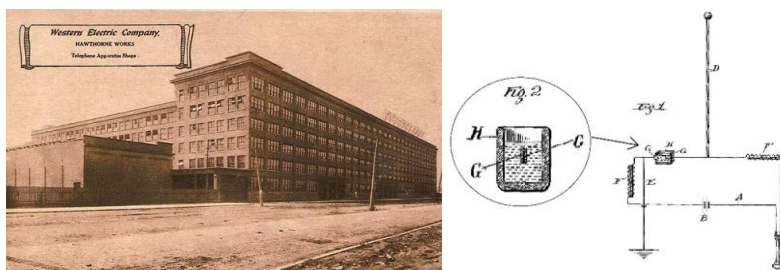


Рис. 5. Производственный комплекс (Hawthorne Works) Western Electric Co. в Чикаго (около 1920 г.). Эта компания стала первым местом работы Ли де Фореста, во время которой он изобрел электролитический детектор «ответчик». Справа представлена принципиальная схема приемника беспроволочного телеграфа с электролитическим детектором «ответчик» конструкции Ли де Фореста и Эдвина Х. Смайта (Патент US716203) [13].

Fig. 5. Western Electric Co. Hawthorne Works in Chicago (circa 1920). This company became the first place of work for Lee de Forest and during which he invented the “Responder” electrolytic detector. On the right is a schematic diagram of a wireless telegraph receiver with an electrolytic “Responder” detector designed by Lee de Forest and Edwin H. Smythe (Patent US716203) [13]

Ли де Форест, недовольный своим положением в *Western Electric Co.*, особенно небольшой зарплатой, стал искать новое место работы. Он написал письмо город Милуоки (*Milwaukee*, штат *Wisconsin*) профессору Уоррену С. Джонсону⁶ (*Warren Seymour Johnson*, 06.11.1847—05.12.1911),

⁵ Эмпирическое исследование — это набор методов, подразумевающих сбор информации, получаемой при изучении некоего объекта.

⁶ Уоррен С. Джонсон наиболее известен своим вкладом в регулирование температуры. Изобрел автоматическую многозонную систему контроля температуры с использованием пневматики. Изобретение защищено патентом US542733 (1895 г.). Новизна патента была оспорена в суде, однако, 26 февраля 1906 г. окружной суд округа Массачусетс вынес решение в пользу Джонсона.

который был президентом недавно созданной компании *American Wireless Telegraph Company*⁷. Письмо сдержало информацию об образовании, опыте работы и амбициях Фореста. Вскоре после этого профессор Джонсон приехал в Чикаго и встретился с Форестом в офисе *Western Electric Company*, где договорились о работе с заработной платой 15 долларов в неделю.

В апреле 1900 г. Ли де Форест ушел из *Western Electric Co.* и переехал в Милуоки, который находился 1,5 часах езды от Чикаго, чтобы приступить к работе в компании Уоррена С. Джонсона, рис. 6.

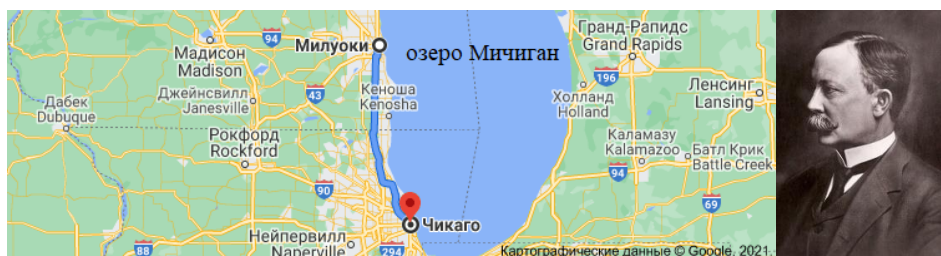


Рис. 6. Город Милуоки на карте США, в котором находилась компания *American Wireless Telegraph Co.* и ее президент Уоррен С. Джонсон.

Fig. 6. Milwaukee city on USA map, where the American Wireless Telegraph Co. was located and its president, Warren S. Johnson

5. Конфликт Ли де Фореста с *American Wireless Telegraph Co.*

Беспроводная телеграфия все больше увлекала Фореста, особенно после впечатляющих успехов итальянца Гульельмо Маркони, который получил свой первый патент в 1896 г. Он изучил систему радиосвязи Маркони и выявил ее недостатки, в частности, использование когерера в качестве приемника. Когерер хоть и обеспечивал постоянный прием сигналов, но делал это медленно, так как после получения каждого дискретного сигнала необходимо было его встряхивать. Де Форест был полон решимости разработать лучшую систему, включая самовосстанавливающийся детектор, который мог бы принимать сигналы на слух. В этом случае открывалась возможность приема более слабых сигналов, а также можно было использовать большую скорость отправки кода Морзе, чем было до этого. Он тайно начал проводить эксперименты по приему беспроводных электрических сигналов на свой «*Responder*».

В это время *American Wireless Telegraph Co.* разработала искровую систему беспроволочного телеграфа и подала на нее заявку для получения

⁷ Экспозиция компании на Парижской выставке Universelle в 1900 г. заняла второе место, опередив Гульельмо Маркони.

патента [14]. Передающая часть системы была построена на основе катушки Румкорфа, рис. 7а. В приемнике системы использовались когереры с металлическим порошком, а для их встряхивания были предложены сложные механизмы. Декогерирование производилось частыми небольшими порывами воздуха, продуваемым через камеру насоса с приводом от часового механизма или электродвигателя, рис. 7б, в. Такая конструкция когереров, по всей видимости, связана с тем, что сам Уоррен Джонсон был специалистом по пневматике, а его соавтор по изобретению Чарльз Фортье⁸ (*Charles L. Fortier*) — механиком. Большая часть полученных ими патентов на изобретение лежит в названных областях техники. При внедрении этой системы беспроволочного телеграфа компания столкнулась с трудностями эксплуатации приемника, который к тому времени морально устарел. Срочно потребовалась замена приемного устройства. Тогда Джонсон вспомнил о разработках Фореста, в частности, приемнике беспроволочного телеграфа на базе электролитического детектора «ответчик». Оказалось, что это приемное устройство намного превосходит подобные устройства, которые использовались в *American Wireless Telegraph Company*.

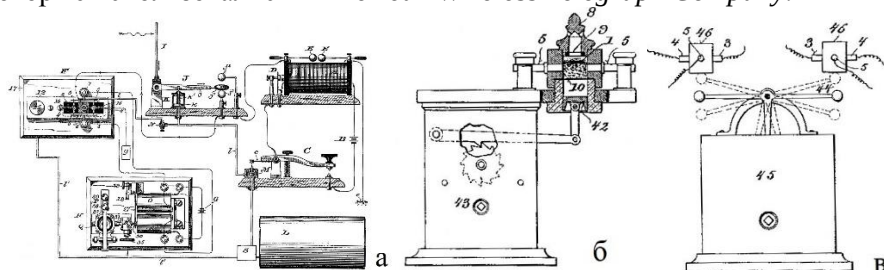


Рис. 7. Аппаратура системы радиосвязи *American Wireless Telegraph Co.*:

а — искровой передатчик, б, в — конструкции когереров. Рисунки из патента US664869 [14].

Fig. 7. Equipment of the American Wireless Telegraph Co. radio communication system:
 a — spark transmitter, b, c — coherer designs. Drawings from patent US664869 [14]

Президент Уоррен Джонсон попросил Фореста передать «ответчик» компании, но он отказался это сделать. Из-за этого через пять месяцев (в январе 1900 г.), после отъезда из Чикаго, Форест в одночасье стал безработным. Он вернулся в «Город ветров»⁹ (англ. *Windy City*).

⁸ В 1903 г. Чарльз Фортье изобрел приемник с когерером (patent US796403), в котором между намагниченными электродами находился мелкодисперсный гомогенный оксид под давлением. Сопро-
 тивление когерера уменьшалось или увеличивалось при приеме волн Герца.

⁹ По одной из версий, Чикаго заслужено называют «ветреным» городом. Это связано с одним из эффектов высоких зданий, который инженеры и архитекторы, по-видимому, не предвидели, когда ветер втягивается в улицы. Если пройти мимо Массонского храма (*Masonic Temple*) или Массонского здания (*Auditorium*) в любой день, даже если в другом месте может быть совершенно спокойно, то вы встретите живой ветерок у подножия здания, который заставит вас приложить руку к шляпе.

6. Система беспроводного телеграфа Фримен — Форест — Смайт

В Чикаго Форест сразу получил должность помощника редактора в журнале *Western Electrician*, главным образом благодаря его способности переводить многие интересные электротехнические статьи, которые только что были представлены на Международной выставке в Париже. Его зарплата снова стала десять долларов неделю.

Для Фореста основным приоритетом оставались экспериментальные исследования в области беспроводной телеграфии, для проведения которых требовалось время свободное от работы и лаборатория с оборудованием. Для решения возникшей ситуации, он устроился преподавателем в вечернюю школу Института Льюиса (*Lewis Institute*), что позволило ему проводить эксперименты в лаборатории Института Армора¹⁰ (*Armour Institute of Technology*) [15].

К 1900 г. Форест, используя передатчик с искровой катушкой и свой приемник «ответчик», увеличил передачу информации примерно до семи километров (четырёх миль). Профессор Кларенс Фримен (*Clarence E. Freeman*, 1840—27.10.1928) из Института Армора заинтересовался работой де Фореста и разработал новый беспроводной тип искровой передающей системы, на которую получил патент US773069, рис. 8 [16].

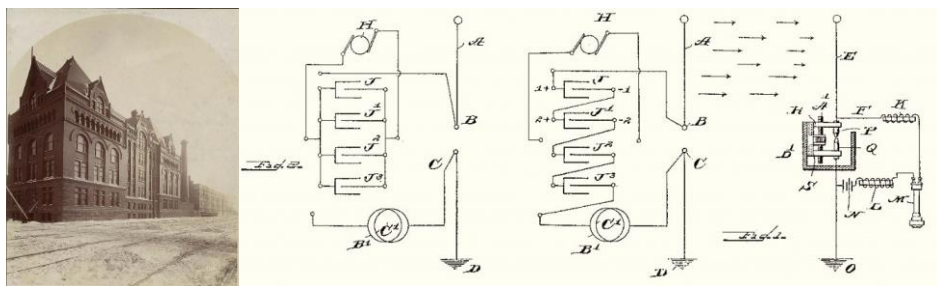


Рис. 8. Институт Армора. Главное здание (1895г.). Принципиальная схема системы беспроводного телеграфа Фремена по его патенту US773069 с приоритетом от 14 января 1901 г. [16].

Fig. 8. Armour Institute. Main Building (1895). Schematic diagram of Fremen's wireless telegraph system according to his patent US773069 with priority of January 14, 1901 [16]

Фремен в качестве прототипа выбрал устройство для передачи электрических сигналов по патенту Маркони US586193, который был выдан 13 июля 1897 г. Предлагаемое передающее устройство отличалось от прото-

¹⁰ В 1940 г. в результате объединения двух институтов, *Armour Institute of Technology* (основан в 1892 г.) и *Lewis Institute* (основан в 1895 г.), был основан Иллинойский технологический институт.

типа отсутствием катушки Румкорфа, что по утверждению автора позволяет получить мощный мгновенный искровой разряд в разряднике BC (рис. 8). Параметры электромагнитной волны, порожденной искрой, определяются емкостью конденсаторной батареи J, J^1, J^2, J^3 и индуктивностью катушки B^1C^1 , которые образуют колебательный контур. Для питания этого колебательного контура может быть использован генератор или другой источник электроэнергии. Выбор схемы передатчика без индукционной катушки объясняется тем, что прерыватели и переключающиеся устройства, как было обнаружено, в большинстве случаев отказывают при передаче беспроволочных сообщений из-за их несовершенства и сбоев.

Схемное решение приемной части системы полностью повторяло приемник беспроволочного телеграфа с электролитическим детектором конструкции Ли де Фореста по патенту US716203, за небольшим отличием. Отличием явилось только крепление компонента с жидкостью между контактами PQ , рис. 8. В патенте не приводится конструкция этого компонента. В тексте патента отмечается, что предложенная конструкция электролитического детектора не требует встряхивающего устройства.

Специально для высокоскоростной работы разработан специальный ключ, очень похожий на обычный ключ Морзе. Переключающий механизм находится под маслом, и оператор был полностью защищен от контакта с проводами высокого напряжения. Ключ также автоматически переключал вертикальный проводник или антенну с приемника на передатчик, так что оператор мог мгновенно «прослушивать» сообщение после его отправки. В то же время, когда приемник был подключен к антенне, то отсутствовала возможность замкнуть первичную цепь.

С системой беспроволочного телеграфа Фримен — Форест — Смайт было проведено в Чикаго несколько успешных испытаний с отправляющей станцией, расположенной в Институте Армор, и с приемными приборами, размещенными на некоторых городских сооружениях, таких как гостиница *Lexington*¹¹ (расстояние 1,5 мили, или 2,4 км) и на крыше небоскреба многофункционального комплекса *Auditorium Building*¹² (расстояние примерно 4 мили, или 6,4 км), рис. 9 [17]. В каждом случае испытания

¹¹ Чикагский отель *Lexington* имел 10 этажей и был построен в 1811—1892 гг. для посетителей Колумбийской выставки. Примечателен тем, что он был основным местом проживания известного американского гангстера и бизнесмена Аль Капоне (англ. *Alphonse Gabriele*, 17.01.1899—25.01.1947) с июля 1928 г. до его ареста в 1931 г. Здание снесено в 1995 г. На его месте в настоящее время находится высотное здание из 296 квартир под названием *The Lex*.

¹² Здание *Auditorium Building* высотой 73 м считалось самым большим сооружением в Чикаго после пожара 1871 г. Построено в 1890 г. для синдиката бизнесменов и для размещения большого оперного театра. Для обеспечения экономической базы вокруг зрительного зала в нем разместили гостиницу и офисы.

проходили над районами высотных зданий, стальных конструкций, металлических дымоходов, надземной железной дороги, плотно пронизанными телеграфными проводами и фидерными кабелями. Трудно найти условия, более неблагоприятные для передачи сигналов. С мачты паровой яхты «Следопыт» (*Pathfinder*), используя антенну высотой 50 футов (15 м), сигналы передавались на аналогичную антенну, подключенную к «ответчику», размещенному в здании, расположенном в 4 милях от берега озера и 5 милях (8 км) от передатчика. В последнем испытании в качестве отправителя использовалась небольшая индукционная катушка.



Рис. 9. Общий вид зданий в Чикаго на крышах, которых располагались антенны во время испытаний системы беспроводного телеграфа Фримен — Форест — Смайт в 1900 г.: а — Институт Армор (фото 1910 г.), б — *Auditorium Building*, в — гостиница *Lexington* (1929 г.).

Знаменитый постоялец гостиницы *Lexington* Аль Капоне.

Fig. 9. General view of the rooftop buildings in Chicago that housed antennas during testing of the Fremen–Forest–Smythe wireless telegraph system in 1900: а – Armor Institute (1910), б – Auditorium Building, в – Lexington Hotel (1929). Famous guest at the Lexington Al Capone

В вышеупомянутом испытании от Института Армор до башни *Auditorium* были получены некоторые неожиданные результаты, указывающие на хорошую чувствительность приемника, а также на эффективность нового передающего устройства. С 12-дюймовой (305 мм) индукционной катушкой и прерывателем Венельта (*Wehnelt*) для передачи сигналов в этом диапазоне требовался искровой промежуток размером в $\frac{3}{4}$ дюйма (≈ 19 мм), но когда в новом передающем устройстве использовался искровой промежуток в $\frac{1}{4}$ дюйма (6,35 мм), или только $\frac{3}{16}$ дюйма (4,76 мм), то этого было достаточно для идеального приема сигналов. Форма волны, генерируемая передатчиком, оказалась примерно на 400 % более эффективной, чем волна, испускаемая обычной индукционной катушкой. Ре-

зультат передачи сигналов на такое расстояние с искровым разрядником в $\frac{3}{16}$ дюйма можно считать вполне приемлемым даже над водой, а тем более в условиях менее благоприятного характера рельефа местности, а также того факта, что флашток, поддерживающий передающую антенну, был медным.

Изобретатели системы Фримен — Форест — Смайт после испытаний начали ее модернизацию. Ли де Форест не оставлял надежды разработать более совершенный детектор, чем использовавшиеся, и настойчиво разрабатывал приемлемую конструкцию «ответчика». Потребовались систематические и кропотливые эксперименты, продолжавшиеся более двух лет, прежде чем электролитический детектор «ответчик» стал коммерческим продуктом [17]. Форест постепенно отходил от пластины Шефера и разрабатывал новые конструкции детекторов. При этом решалось несколько задач, в том числе разработка простого по конструкции, надежного и стабильного в работе детектора, способного работать с высокой скоростью и чувствительностью, необходимой для реагирования на слабые электрические импульсы. Это позволило бы существенно увеличить дальность передачи сигналов.

7. Электролитический детектор Фореста — Смайта

В июле 1901 г. были завершены обширные исследования по исследованию веществ, пригодных для использования в электролитическом детекторе. Исходя из этого, Форест и Смайт разработали приемник беспроволочной телеграфии с новой конструкцией детектора, что позволило им оформить заявку на получение патента [19]. Электролитический детектор представлял собой по форме струбину, на раме которой имеется два цилиндрических контакта: один неподвижный, а второй — с резьбой для перемещения. Между контактами зажимался электролитический элемент, содержащий вязкую среду, рис. 10. В качестве электролита в патенте предлагается использовать различные материалы и их комбинации, включая воду, глицерин, масла, вязкие полутвердые вещества, такие как вазелин, пористые твердые вещества, непроводящие или плохо проводящие порошки, такие как сера и оксиды свинца, волокна и ткани, и сочетания вышеперечисленных волокон или тканей, насыщенных глицерином или родственными ему веществами, а также смесь оксида свинца или глета с глицерином. Для предотвращения накопления на катоде пузырьков водорода, а на аноде пузырьков кислорода, электролит содержал перекись свинца или другого деполяризующего вещества. В противном случае составляющие электролит частицы были бы окружены не жидкой средой, а

газообразной, что привело к серьезному нарушению функции автоматического восстановления. Деполяризатор химически удаляет газообразные пузырьки. В патенте отмечено, что наиболее подходящими металлами как для электродов, так и для проводящих частиц или фрагментов, помещаемых между электродами, являются олово, серебро и никель. Потребляемый приемником ток составлял от 1/16 до 1 мА при напряжении гальванической батареи 3—4 В.

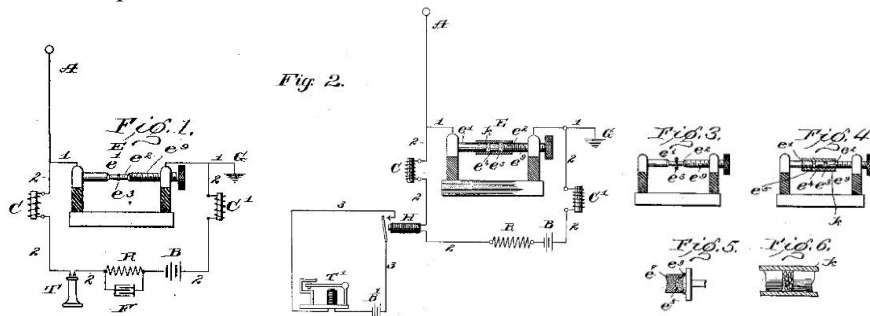


Рис. 10. Принципиальные схемы приемника и электролитических детекторов по патенту Фореста и Смайта. Рисунки из патента US716000 с приоритетом от 5 июля 1901 г. [19].

Fig. 10. Schematic diagrams of the receiver and electrolytic detectors patented by Forest and Smythe. Drawings from patent US716000 with priority of July 5, 1901 [19]

Детектор Фореста — Смайта относился к антикогерентному типу и работал следующим образом. Под действием постоянного тока от батареи в электролите между контактами образовывалась кристаллическая структура, известная в химии под названием «свинцового дерева». В момент прихода сигналов древоподобные ростки разрушались высокочастотными колебаниями и по прекращении их действия очень быстро восстанавливались вновь. Чувствительность электролитического детектора зависела от расстояния между цилиндрическими электродами, которое подбиралось медленным перемещением подвижного контакта до необходимого рабочего расстояния.

Описанный в патенте приемник реагировал на волны Герца мгновенно, а его детектор автоматически восстанавливал свое исходное состояние при прекращении высокочастотного импульса. При использовании устройства, когда к нему подключена телефонная трубка, слушающий оператор слышал отчетливый и отдельный щелчок для каждой искры, производимый передающей станцией. Если на передающем устройстве образуется длинная серия таких искр, принимающий оператор слышит аналогичную серию звуков или щелчков в телефоне, что может представлять собой, например, тире кода Морзе. Короткая серия искр на передаю-

щей или генерирующей станции может представлять точку кода Морзе. Скорость передачи и приема сообщения ограничена только способностью операторов отправлять и получать сигналы.

8. Первое коммерческое предприятие

Осенью 1901 г. Форест принял решение расширить свою деятельность, придав ей коммерческую составляющую. Таким первым коммерческим предприятием должна была стать организация передачи результатов о Международных гонках на яхтах на Кубок Америки (*America's Cup International Yacht Races*) для информационных агентств новостей Нью-Йорка. С этой целью он поехал в Нью-Йорк, чтобы напрямую конкурировать с Маркони на данном мероприятии. Смайт и Фримен всячески отговаривали Фореста от этого.

Кубок Америки в октябре 1901 г. стал 11-м испытанием этого соревнования. Он проходил в гавани Нью-Йорка и состоял из лучших пяти серий гонок, в которых, кроме спортсменов «Колумбии», во второй раз принял участие Нью-Йоркский яхт-клуб. В информационном обеспечении гонок участвовали со своими передающими системами *Marconi Company*, Американская компания беспроволочной телефонии и телеграфии (*American Wireless Telephone and Telegraph Company*, сокращенно *AT&T*) и Ли де Форест, рис. 11.

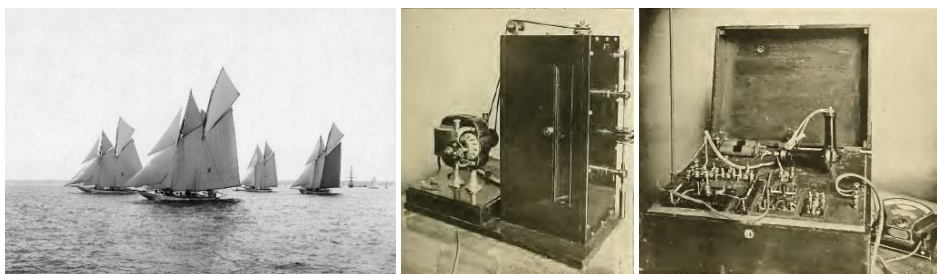


Рис. 11. Яхты во время 11-й международной гонки на Кубок Америки в 1901 г. Внешний вид аппаратуры беспроволочной телеграфии, которой пользовался во время 11-х международных гонок Ли де Форест: передатчик конструкции Фримена (посередине) и приемник конструкции Форест-Смайта (справа).

Fig. 11. Yachts during the 11th America's Cup International Race in 1901. External view of the wireless telegraphy equipment used during the 11th Lee de Forest international races: Freeman's transmitter (middle) and Forest-Smythe's receiver (right)

Амбициозный молодой издатель газеты *New York Herald* Джеймс Гордон Беннетт (*James Gordon Bennett*) вместе с *Associated Press* (AP),

нанял *Marconi Company*, чтобы повторить свой информационный успех на Кубке Америки 1899 г. Де Форест заключил контракт на то же самое мероприятие с небольшими издательствами, которые являлись членами Ассоциации издателей прессы (*Publishers Press Association*). Ли де Форест, утверждал, что от этого зависит «моя слава... все мое будущее», был полон решимости не уступать в этой сфере интересов Маркони.

Продав свои информационные услуги беспроводной связи компании *Publishers Press Association*, одному из конкурентов AP, де Форест устроил гонки за новостями, не уступающие состязанию на море. По мере того как яхтсмены поднимались вверх по реке, двое буксиров новостей тоже шли за ними. Неудивительно, что перекрестные помехи, возникшие между работающими станциями беспроволочного телеграфа на двух кораблях, заглушали друг друга. Ситуация осложнялась еще и тем, что AT&T для освещения гонок использовала более мощный передатчик, чем у конкурентов. К этому следует добавить сделанное этой компанией заявление о правах на патент Амоса Долбера¹³ (*Amos Emerson Dolbear*, 10.11.1837—23.02.1910) на беспроводную связь. Это открывало перед AT&T возможность претендовать на монополию всей беспроводной связи в Соединенных Штатах, а также первенство в передаче информации о гонках. Развернувшееся соперничество между компаниями беспроволочного телеграфа не позволило услышать на берегу ни одного слова. Это, конечно, не оставило нью-йоркские газеты, которые заплатили за услуги; они поместили свои запоздалые новости как «полученные по беспроволочному телеграфу от буксиров, следовавших за яхтами».

Беспроводная передача результатов гонок обернулись почти полным провалом [20]. Невзирая на это, Форест от соперничества с компанией Маркони получил определенное удовлетворение: «Мы поставили под глазом Маркони большой синяк, чем получили сами». Это после того, как передатчик Фримена сломался и в порыве ярости Форест выбросил его за борт. Результатом стала установка в передатчик обычной искровой катушки Румкорфа.

¹³ В 1886 г. американский физик Амос Эмерсон Долбер (*Amos Emerson Dolbear*, 10.11.1837—23.02.1910) получил патент US350299 на «Способ электрической связи» (англ. *Mode of electric communication*). В его устройстве использовались телефоны, заземленные металлическими стержнями, вбитыми в землю. Дальность передачи составила около 0,5 мили. Патент мешал компании Marconi работать в США. В 1899 г. *The New England Wireless Telegraph and Telephone Company*, дочерняя компания AT&T, приобрела патент Долбера 1886 г. и подала иск против Маркони за нарушение. Однако в марте 1901 г. окружной суд США отклонил иск. В апреле 1902 г. компания *American Wireless Telegraph and Telephone Company* обратилась в Конгресс с ходатайством о продлении срока действия патента 1886 г. на десять лет, но безуспешно, поэтому срок его действия истек 4 октября 1903 г.

Ни у одной из компаний, освещавших гонки, не было эффективных настроек на частоту передачи своих передатчиков, поэтому только одна из них могла передавать информацию, не вызывая взаимных помех. Хотя была предпринята попытка избежать конфликтов между владельцами трех систем связи путем чередования операций в течение пятиминутных интервалов, но не обращая внимание на договоренности, соглашение было нарушено. Это привело к хаосу, поскольку одновременные передачи мешали друг другу. Де Форест с сожалением отметил, что в этих условиях единственная успешная «беспроводная» связь может быть обеспечена только визуальными семафорными флажками [21].

Анализируя результаты использования системы беспроволочной телеграфии во время 11-й международной гонки на Кубок Америки Фримен, Форест и Смайт сделали вывод, что с помощью мощной аппаратуры они смогут передавать сигналы во много раз дальше и в этом увидели большие коммерческие возможности изобретения. Молодой Маркони уже проделал весьма успешные опыты в области беспроволочной телеграфии в Англии и в это время продолжал свою работу в Америке. Маркони получил мощную финансовую поддержку в Англии, и у него не было проблем с тем, чтобы заинтересовать американских финансистов коммерческими возможностями беспроволочного телеграфа. Чикагские изобретатели были убеждены, что если Маркони смог привлечь капитал, то и они смогут сделать то же самое. Исходя из этого, Форест был послан в Нью-Йорк, чтобы привлечь капитал и создать компанию.

9. Финансовые пирамиды Авраама Уайта

Приехав в Нью-Йорк, де Форест встретил промоутера¹⁴ Генри Б. Снайдера (*Henry B. Snyder*), который сразу увидел в проекте «миллионы». Он заверил Де Фореста, что сможет собрать требуемые деньги, необходимые для организации компании. У него не было собственных средств, как вскоре обнаружил Де Форест, но он мог найти деньги среди своих друзей, которые бы внесли несколько тысяч долларов на предполагаемый проект. Снайдер нашел пять человек, которые внесли на это предприятие по 500 долларов и стали его учредителями. Среди них были Джон Ферт (*John Firth*), другим был Уильям Харт (*William Newmarch Harte*), а третьим — Джон Бергессен (*John Bergessen*) [22].

Еще будучи в Чикаго, Форест со своими компаньонами по организации компании собирались дать ей название: *Freeman-Smythe-De Forest*

¹⁴ Промоутер — частное лицо или группа лиц, занимающаяся целенаправленной рекламой товара.

Wireless Telegraph Company. Это название для будущего предприятия Форест предложил Снайдеру, но тот, подумав, отверг его, сказав, что это имя слишком громоздко. Снайдер предложил название «Имperiал» (*Imperial*). В конце концов был достигнут компромисс в отношении названия *Wireless Telegraph Company of America* (Беспроводная телеграфная компания Америки»). Эта компания была зарегистрирована в Нью-Джерси с номинальным капиталом в 3000 долларов, а акции были разделены между учредителями. Компания получила патенты на «отправляющий аппарат» Фримена и «ответчики» Форест — Смайта (*The Freeman “sending apparatus” and the De Forest-Smythe “responders”*).

Ни один из пяти организаторов *Wireless Telegraph Company of America* не был богатым, поэтому они принялись искать человека с капиталом. Джон Ферт нашел человека. Это был Авраам Уайт (*Abraham White*, 1863—19??), молодой человек, приехавший в Нью-Йорк из Техаса несколько лет назад и прославившийся в одночасье, получив 100 000 долларов при вложении 44 цента. Фамилия Уайта была Шварц (нем. *Schwartz*, что переводится как *Черный*). Авраам Шварц жил с братьями в Техасе, там он занимался торговлей хлопка. После ссоры со своим партнером по бизнесу и когда против него было предъявлено несколько обвинений, он поменял фамилию с Черного (*Black*) на Белого (*White*). С того дня, когда Уайт впервые появился в Нью-Йорке, он мечтал заработать состояние. У него был инстинкт зарабатывания денег.

Как только Уайту рассказали историю чикагских экспериментов и успехов де Фореста, а особенно о том, как его коллеги-изобретатели передавали сообщения без проводов, то он сразу начал строить воздушные замки для молодого Фореста. Среди них финансовое благополучие благодаря беспроводной телеграфии, а также то, что имя Фореста занимает достойное место в истории науки среди великих ученых. Они, Уайт и Форест, будут создавать компании по всему миру и выпускать акции на миллионы долларов для продажи инвесторам. Они и промоутеры, с большой долей этих миллионов в качестве своей доли в предприятии, обменивают свои сертификаты на запасы зелено-белой бумаги с печатью Правительства. Их компании установят радиостанции по всему американскому побережью, и каждое судно в море будет платить им дань. Будет построена цепочка наземных станций от побережья до побережья, от Панамского перешейка до заснеженных гор Аляски, которые будут конкурировать с другими телеграфными и телефонными компаниями. Они образуют головную американскую компанию, которая станет ядром для целого ряда беспроводных компаний по всему миру. Компании будут созданы в Канаде и Ан-

глии, на континенте, в Африке, на Востоке, то есть во всех уголках земли, и все эти дочерние компании будут платить дань материнской компании.

Уайт днем и ночью строил эти воздушные замки перед ослепленными глазами молодого Фореста, и неудивительно, что изобретатель, вскоре забыл друзей, которых он оставил в Чикаго. Форест разрешил Уайту создать компанию под названием «*American De Forest Wireless Telegraph Company*». Это был концерн с уставным капиталом 1000000 долларов, зарегистрированный в Нью-Джерси в конце лета 1901 г. Смайт и Фриман не стали ни директорами, ни акционерами этой компании. Форест бросил их. «Передающий аппарат» Фримена в любом случае не имел большого значения, сказал Форест, а что касается Смайта, то «Ответчик» был моим изобретением, а не его.

Акции стоимостью в миллион долларов были разделены между Уайтом, Форестом и другими промоутерами, которые внесли свой вклад в *Wireless Telegraph Company of America* по 3000 долларов, рис. 12.

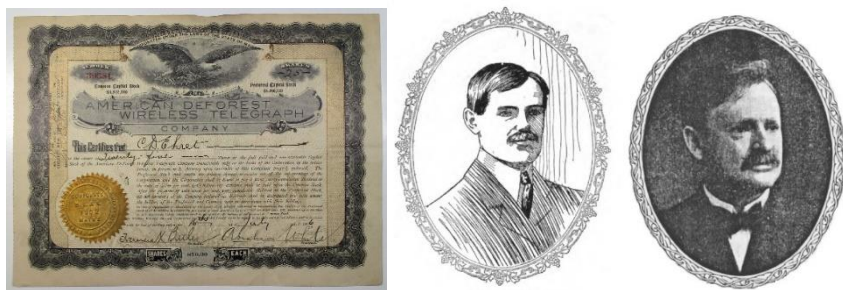


Рис. 12. Сертификат акций американской компании *American De Forest Wireless Telegraph Company*. Ли де Форест (в центре) и Авраам Уайт (справа).

Fig. 12. Certificate of shares of the American De Forest Wireless Telegraph Company.
Lee de Forest (middle) and Abraham White (right)

Вскоре после того, как Уайт основал компанию *De Forest*, у компании *Marconi* появился еще один конкурент. Группа промоутеров из Филадельфии, следуя примеру Маркони и Фореста, начала организацию ряда беспроволочных компаний, основанных на почти забытых патентах профессора Долбира из колледжа Тафтс (*Tufts College*). Материнской компанией филадельфийской группы была *American Wireless Telephone and Telegraph Company*, президентом которой был доктор Густав Герин (*Gustav Gehring*). Филадельфийцы организовали ряд компаний по всей стране с капиталом в 55000000 долларов, и одна из этих компаний, *Federal*, попавшая в руки печально известного промоутера Лафайетта Э. Пайка (*Lafayette E. Pike*), стала самым широко разрекламированным золотым дном в этом грандиоз-

ном рекламном буме 1901—1902 гг. Их акции на миллионы долларов были проданы вопиюще нечестными методами. Компании *Dolbear* на самом деле отправляли беспроводные сообщения так же, как и компании *Marconi* и *De Forest*, но они давали инвесторам мошенническое обещание, что акции их чрезмерно капитализированных предприятий вырастут в цене в две тысячи раз. Промоутеры Фореста, а также брокеры, привлеченные для продажи ценных бумаг Маркони, рисовали ту же заманчивую картину для своих компаний. Каждая беспроводная реклама, появлявшаяся в газетах, рассказывала, как 100 долларов, вложенных в акции *Bell Telephone*, превратились в 200 000 долларов, в связи с этим беспроводная сеть собиралась сделать то же самое.

Успех компании Герина в продаже огромного количества своих беспроводных акций показал Уайту, что компания стоимостью 1000000 долларов была слишком маленькой. В феврале 1902 г. компания *De Forest Wireless* в Нью-Джерси с капиталом \$1000000 была поглощена компанией *De Forest Wireless* в штате Мэн с капиталом \$3000000. С этого времени имя Авраама Уайта стало все чаще появляться в проспектах компаний де Фореста, а первоначальные промоутеры маленькой компании стоимостью 3000 долларов были вытеснены один за другим.

Руководителями компании с капиталом в 3 миллиона долларов были: президент А. Уайт; вице-президент и научный директор Ли де Форест; казначей Х. Э. Уайз (*H. E. Wise*); секретарь Фрэнсис Х. Батлер (*Francis X. Butler*). Другая компания также имела своих руководителей, среди которых только три человека были из старого совета директоров.

Уайт с радостным оптимизмом полковника Селлерса¹⁵ начал планировать новые компании. Вся идея Уайта при создании новых беспроводных компаний заключалась не в привлечении капитала для расширения беспроводного телеграфирования, а в выпуске акций, которые он мог бы продавать населению. Каждый дополнительный миллион долларов акций беспроводной связи, выпущенных под именем Фореста, означал для Уайта еще одно состояние, если он мог найти достаточно доверчивых инвесторов.

Уайт организовал рекламную кампанию достойную «Тоди» Гамильтона¹⁶ (*"Tody" Hamilton*). Он не щадил сил и средств, чтобы газеты гово-

¹⁵ Полковник Селлерс (*Colonel Sellers*) герой романа Марка Твена и Чарльза Дадли Уорнера «Позолоченный век: сказка сегодня» (*The Gilded Age: A Tale of Today*). Селлерс — оптимист, чье желание разбогатеть с помощью различных схем, включая патентованные лекарства и спекуляцию землей, никогда не ослабевает, несмотря на постоянные и разнообразные неудачи.

¹⁶ Статья из «Нью-Йорк Сан» (1903) содержала рассказ о праздновании дня рождения Тоди Гамильтона, «декана пресс-агентов», на котором пресс-агенты размышляли: «Нужна ли правда в их бизнесе? Они находят, что иногда вынуждены использовать ее» [23].

рили о системе Фореста. Аппаратура Фореста сделала свое дело, и сделала это хорошо, как было показано в Конкурсных испытаниях с аппаратурой Маркони, когда военно-морское ведомство США закупило аппараты Фореста вместо Маркони.

Уайт немедленно объявил об этом выпуске новостей и рекламировал систему Фореста как «систему, принятую правительством Соединенных Штатов». Компания Маркони, видя, что Уайт выигрывает у них, подали иск о нарушении патентов. По техническим причинам компания Маркони могла получить постоянный судебный запрет только через три года, и к тому времени в компании Форест разработали аппарат более эффективный, чем тот, который был привезен Форестом из Чикаго. Уайт нанял пресс-агента, и именно по его предложению против компании *Marconi* был подан иск о возмещении ущерба в размере 1000000 долларов. Иск был объявлен только для того, чтобы газетам было о чем поговорить. Вскоре об этом забыли.

Работая вместе, Уайт и Де Форест предприняли ряд рекламных трюков, чтобы привлечь потенциальных инвесторов. Например, в феврале 1903 г. они припарковали машину с небольшой беспроволочной станцией возле Уолл-стрит и передали последние котировки фондовой биржи. В следующем году они вызвали ажиотаж на Всемирной выставке в Сент-Луисе, построив стальную башню высотой 300 футов, на которой электрические лампы высвечивали фамилию де Форест.

10. Разработки компании *American De Forest Wireless Telegraph Co.*

С того момента времени, когда компания *American De Forest Wireless Telegraph* была зарегистрирована финансистами Нью-Йорка в соответствии с законами штата Мэн, были открыты лаборатории и мастерские [24]:

- в Джерси-Сити (*Jersey City*),
- две обычные станции беспроволочного телеграфа, оборудованные на противоположных берегах залива Нью-Йорка, которые между собой обменивались сообщениями ежедневно в течение нескольких месяцев;
- одна станция для дальней связи с океанскими и прибрежными судами открыта на острове Коней (*Coney Island*, юго-западная часть района Нью-Йорка в Бруклине), где позже был осуществлен монтаж других станций.

Системой беспроволочного телеграфа Фримен-Форест-Смайт были оснащены две моторные лодки *Knickerbocker Steamship Company* и судно

Ward Line ship “Morro Castle”, которое везло на борту снаряжение во время своего последнего путешествия в Гавану.

Собственная компания Ли де Фореста специализировалась на производстве оборудования для беспроводного телеграфа и эксплуатации беспроводных станций, а также на совершенствовании аппаратуры, на которую уже были распространены его патенты. Он настойчиво искал технические решения для изменения конструкции электролитического детектора «ответчик», которые бы позволили ему обойти патенты Маркони и Фессендена.

В период июня 1902 г. компания *De Forest Company* открыла станцию беспроводного телеграфа и школу для операторов на крыше здания *Chesebrough Building*, 17 *State Street* в Нью-Йорке. Это здание, состоящее из железного каркаса и стекла, было полностью оборудовано отправляющими и приемными беспроводными телеграфными устройствами. Высота антенны этой станции составляла 60 футов (18 м). Сопутствующая станция находилась в гостинице *Castleton* на острове Статен (*Hotel Castleton, Staten Island*) (кстати, это первая в мире гостиница, которая была оборудована беспроводной системой связи).

Самая важная наземная станция, созданная *De Forest Company* — это станция в *Steeplechase Park* на острове Коней (*Coney Island*). Станция имела в тот момент времени самую высокую антенную мачту в Америке, состоящую из четырех частей, общей высотой 210 футов (64 м), рис. 13. Для электроснабжения станции использовалась уличная сеть переменного тока с периодом 60 Гц.



Рис. 13. Остров Статен (*Staten Island*) на карте Нью-Йорка.

Общий вид гостиницы *Castleton* (1905 г.) на этом острове и антенна системы беспроводной системой установленная возле гостиницы (1902 г.).

Fig. 13. Staten Island on the New York map. General view of the *Castleton Hotel* (1905) on this island and a wireless system antenna installed near the hotel (1902)

14 июня 1902 г., в первый день работы станции *Coney Island*, была установлена первая связь с судном, оборудованным системой Фореста. На морском лайнере *Morro Castle*, направлявшемся в Гавану, были размеще-

ны передатчик и приемник с антенной со средней высотой 6 футов (около 2 м). Секретарь компании М. Ф. Стирс (M. F. Stires) и оператор Барнхард (Barnhardt) с борта лайнера производили обмен сообщениями с берегом до тех пор, пока судно не оказалось на удалении 50 миль (93 км) от порта. До этого испытания станция *Staten Island* поддерживала связь с Гамбург-американским лайнером *Deutschland* (SS *Deutschland* of the *Hamburg America Line*), в его последнем путешествии на восток на расстояние 70 миль (130 км). *Deutschland* был оборудован системой *Slaby-Arco*, которая взаимодействовала с системой Фореста. При работе двух системам связи в двухстороннем режиме особых проблем не возникло, рис. 14.

В конце 1902 г. военно-морской флот (ВМФ) США, крупнейший потенциальный покупатель беспроводных систем, завершил тестирование систем де Фореста, Маркони и Фессендена. В итоговом докладе ВМФ написано: «Системы Маркони и Фессендена оказались практически недействующими с самого начала, и вся тяжесть испытаний пришлась на систему де Фореста. Эта система, хотя и сдерживается недостаточным оборудованием и неблагоприятными условиями военного применения, работала столь успешно, что генерал А. Грили (англ. *Adolphus Washington Greely*, 27.03.1844—20.10.1935) лично поздравил изобретателя, заявив, “Система де Фореста — единственная из трех представленных, показала плодотворные результаты...” [25]. Это событие стало прологом к коммерческому успеху Ли де Фореста, причем в условиях жесткой конкуренции с Фессенденом и Маркони.



Рис. 14. Морские лайнеры, оборудованные оригинальными системами беспроволочного телеграфа, с которыми во время экспериментов была установлена связь радиостанцией на острове *Coney Island* (район Нью-Йорка): слева — *Morro Castle* (система Фореста — Смыта) и справа — *Deutschland* (система *Slaby-Arco*). 1902 г.

Fig. 14. Sea liners equipped with original wireless telegraph systems, with which during experiments a radio station was established on the island of Coney (New York area): on the left – *Morro Castle* (Forest–Smythe system) and on the right – *Deutschland* (Slaby–Arco system). 1902

Ли де Форест стал главной фигурой в беспроводной связи, продавая свои системы ВМФ и войскам связи США, каналам связи для прессы и путешествуя по всему миру, демонстрируя их. Кроме того, компания «Юнайтед Фрут» (англ. *United Fruit Company*) поручила ему строительство радиостанций между Коста-Рикой и Панамой. Тем не менее, для настоящего успеха на выбранном поприще де Форесту нужно было изобрести нечто принципиально новое, чего не было у конкурентов.

11. Новая конструкция электролитического детектора Фореста — Смайта

В 1903 г. Форестом была разработана система беспроводной телеграфии с новой конструкцией электролитического детектора [26]. Схема передатчика, за исключением нескольких небольших изменений, не имела каких-либо особенностей по сравнению с другими аналогичными устройствами, разработанными Форестом ранее (рис. 8). Характеристики системы беспроводного телеграфа Фореста в основном определялись использованием индикатора электромагнитных волн, называемого «ответчик», который использует телефон для определения электрических колебаний.

Конструкция электролитического детектора или «ответчика» Фореста — Смайта представляла собой небольшую электролитическую ячейку и показана на рис. 15 А и В. В трубку *a* из изоляционного материала вставлены два полусферических металлических электрода *b*, которые подключены к источнику питания и телефону. Концы электродов покрыты перекисью свинца. Пространство между электродами заполнено полужидкой массой, состоящей из металлической стружки с черным свинцом¹⁷ или глицерином на водной основе, или подобными веществами. В состоянии ожидания источник питания создает эффект поляризации, который происходит между электродами, как показано на рис. 15 А. Электролитическое действие приводит к образованию цепочек металлических частиц в пространстве между двумя электродами. Как только электромагнитные колебания из антенны попадают на «ответчик», цепочки из металлических частиц разрушаются (рис. 15 В), в результате чего сопротивление «ответчика» значительно возрастает и в телефоне слышен щелчок. Детектор автоматически возвращается в исходное состояние после прекращения действия колебаний. «Ответчик» декодирует себя сам, то есть является самовосстанавливающимся детектором.

¹⁷ Природный графит иногда называют плюмбаго или черный свинец. Представляет собой разновидность углерода.

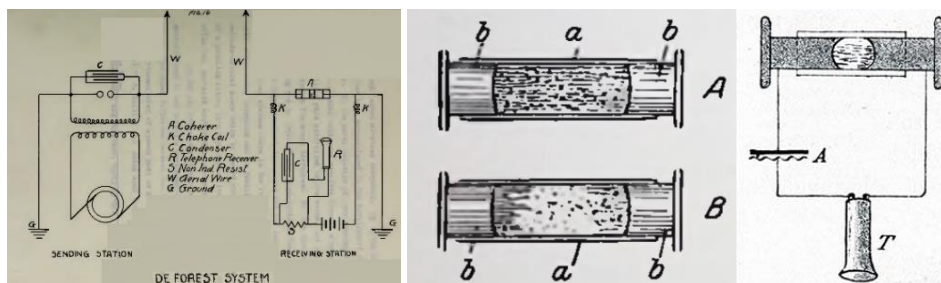


Рис. 15. Принципиальная схема системы беспроволочной телеграфии [26] (слева) с «ответчиком» де Фореста в виде электролитической ячейки (посередине). Устройство «ответчика» и его состояния: в режиме ожидания (А) и режиме приема (В) (в центре). Упрощенная схема приемника (справа).

Fig. 15. Schematic diagram of a wireless telegraphy system [26] (left) with de Forest's "Responder" in the form of an electrolytic cell (middle). The "Responder" device and its status: in standby mode (A) and receive mode (B) (in the center). Simplified diagram of the receiver (right)

Узнав, что подобными разработками занимается Реджинальд Фессенден (*Reginald Aubrey Fessenden*, 06.10.1866—22.07.1932), Ли де Форест как бы «случайно» в 1903 г. посетил его лабораторию, в которой увидел неизвестную для него конструкцию электролитического детектора. Через некоторое время, с учетом увиденного, Ли де Форест создал свою конструкцию электролитического детектора, в котором вместо платиновой проволоки Фессендена используется полоска, вырезанная из платинового листа и запаиваемая в стекло [27]. Хотя по чувствительности этот детектор уступал детекторному устройству Фессендена (открытый контакт конца проволоочки Волластона с электролитом), но зато он обладал стабильностью в работе. Другим его преимуществом было то, что его можно было устанавливать в любом положении, так как электролит находился в герметично закрытой оболочке. Этот детектор де Фореста был принят в качестве стандартного оборудования беспроводных станций его конструкции, а также приемников ВМС США. Вскоре Форест начал коммерческое производство телефонных радиоприемников на основе нового детектора. Радиоприемники под название *Responder* были востребованы бизнесменами и военными, рис. 16. В 1904 г. этот приемник был представлен на Всемирной выставке в Сент-Луисе.

Реджинальд Фессенден, узнав о продажах радиоприемника *Responder*, подал в суд с целью защитить свои авторские права (patent US727331 *Receiver Electromagnetic Waves*, patented May 5, 1903), а также остановить продажу радиоустройств. Ли де Форест всячески пытался отстоять свое изобретение, но доказать новизну своего устройства ему не удалось. Сле-

дует заметить, что конструкция электролитического детектора де Фореста в значительной мере отличалась от конструкции Р. Фессендена. В связи с этим, Ли де Форест стал отчаянно искать замену электролитическому детектору, чтобы не платить за использование патента Р. Фессендена.



Рис. 16. Общий вид радиоприемника *Responder* (De Forest–Smythe). 1903 г. [27].

Fig. 16. General view of the radio receiver “Responder” (De Forest-Smythe). 1903 [27]

В конце концов Р. Фессендену в 1906 г. после трех лет судебных баталий удалось добиться судебного решения на остановку производства радиоприемников *Responder*. Компания де Фореста оказалась на краю экономического краха. Ситуацию удалось стабилизировать в марте 1906 г. только благодаря изобретению кристаллического карборундного детектора вице-президентом компании отставным генералом Генри Данвуди (*Henry Harrison Chase Dunwoody*). В его конструкции детектора, как и в электролитическом детекторе, использовался контакт двух сред, но один из электродов был сделан из карборунда. Следует отметить, что карборундный детектор обладал меньшей чувствительностью, нежели электролитический детектор.

Невзирая на появление карборундного детектора, Ли де Форест был вынужден уйти с поста главного инженера собственной компании в ноябре 1906 г. Ему заплатили за разрыв контракта \$1000, из которых половина денег ушла его адвокату.

По версии де Фореста, он подал в отставку в знак протеста против неправильных действий руководства компании. Правление компании рассталось с ним по причине того, что де Форест не сумел разработать эффективную конструкцию детектора без нарушения авторских прав, что привело к появлению исков, и как результат — неблагоприятные и затратные судебные решения в отношении компании. Кроме того, недавнее изобретение Генри Данвуди было защищено патентом и не нарушало ничьих авторских прав, в связи с этим необходимость в услугах де Фореста отпала.

12. Демонстрация беспроводной телеграфной системы де Фореста в Великобритании

Ли де Форест, как и его конкуренты Маркони, Фессенден и другие, рассматривал создание трансатлантических беспроводных систем связи как большой коммерческий проект, который должен был принести деньги и славу. Беспроводная связь могла подорвать кабельные монополии в цене и объеме трафика через океан. Более того, это сулило прогресс в военных, военно-морских, правительственных и деловых коммуникациях. С этими мыслями де Форест в ноябре 1903 г. отплыл в Англию, по приглашению Британского Главного почтового ведомства (*General Post Office*) для демонстрации своей системы связи [28].

В Англии под руководством де Фореста и его главного помощника В. М. Хортон (*W. M. Horton*) установили два полных комплекта беспроводной аппаратуры на берегах Ирландского моря на станциях в Ирландии Хаут (*Howth*) и Уэльсе Холихед (*Holyhead*), которые ранее использовались Главным почтовым ведомством во время экспериментов с беспроводным телеграфом между двумя странами. Нужно заметить, что в следующем году эта аппаратура беспроводного телеграфа Фореста была доставлена на Желтое море для отправки сводок с театра военных действий русско-японской войны.

В Ирландии станция беспроводной телеграфии была установлена в старой крепости Мартелло (*Howth Martello Tower*) на побережье близ Дублина в Хауте [29]. Крепость представляла собой круглую башню с огневыми бойницами на вершине и была возведена в свое время для защиты от возможного наполеоновского вторжения в Англию. Для передачи информации на расстояние между Холихедом и Хоутом в 64 мили (119 км) использовались антенные мачты высотой 180 футов (55 м), которые были установлены еще в период экспериментов с беспроводным телеграфом два года назад, рис. 17.

В искровом передатчике использовался генератор переменного тока мощностью 1 кВт, рассчитанный на работу при напряжении 500 В и частоте 50 Гц, рис. 18 [30]. Для приведения его в действие была задействована небольшая машина постоянного тока, которая получала вращение посредством ременной передачи от бензинового двигателя мощностью 3 л. с. (2,2 кВт), предоставленного по этому случаю американской компанией *Fairbanks Morse Co.* Переменный ток от генератора подавался на трансформатор А, а далее на первичную обмотку повышающего трансформатора В. Напряжение на выходе трансформатора В составляло 20000 В, что позволяло получить в разряднике S очень мощную искру. Для защиты трансформатора В от перегрева использовалось масляное охлаждение.



Рис. 17. Карта с указанием расположения радиостанций между городами Холихедом и Хоутом (англ. *Holyhead and Howth*) во время демонстрации сеансов связи де Форестом 1 декабря 1903 г. Антенны вблизи Мартелло (*Howth Martello Tower*) Хоуте.

Fig. 17. Map showing the location of radio stations between Holyhead and Howth during de Forest's demonstration of communications on December 1, 1903.
Antennas near Howth Martello Tower Howth

Передача информации осуществлялась ключом K2 с использованием кода Морзе, рис. 18. Ключ передачи K2 представлял собой довольно простую конструкцию и во многих отношениях был похож на обычный ключ Морзе. Он устанавливался наверху коробки и с помощью коленчатого рычага (*ball-crank lever*) разрывал цепь 500 В внутри коробки. Контакты ключа представляли собой небольшие кусочки круглого стального стержня диаметром $\frac{1}{2}$ дюйма, заподлицо соединенные с поверхностями. Для минимизации искры при разрыве контактов использовался только атмосферный воздух. В случае работы ключом при токе более 6 А требовалось налить масло в коробку.

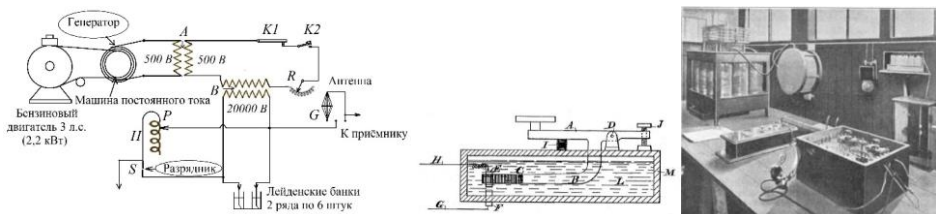


Рис. 18. Принципиальная схема искрового передатчика Фореста (слева), устройство телеграфного ключа K2 (рисунок из патента де Фореста US749178 с приоритетом от 5 марта 1903 г.) и вид интерьера станции (справа) [30]. 1903 г.

Fig. 18. Schematic diagram of Forest's spark transmitter (left), K2 telegraph key device (figure from de Forest's patent US749178 with priority dated March 5, 1903) and a view of the station's interior (right) [30]. 1903

В передатчике Форест применил ряд новшеств, которые отличали его от других подобных устройств. В результате тщательного исследования он обнаружил, что эффективность ряда лейденских банок (электриче-

ских конденсаторов) в значительной степени зависит от схемы соединения и их относительного положения, которое они занимают [31]. Дальнейшие исследования привели его к выводу, что размещение банок по кругу дает наилучшие результаты. Стало очевидным, что такое расположение слишком неудобно и громоздко, чтобы применять его на практике. В связи с этим он расставил лейденские банки рядами с минимально возможной длиной соединяющих их проводников. В передатчике он использовал 12 банок, в четыре ряда по три в ряд, которые были соединены в два параллельных набора. При этом каждый набор имел шесть последовательно соединенных сосудов. Общая емкость использованных банок, сгруппированных таким образом, составила 0,006 микрофарад.

Для искрового разрядника S электроды были изготовлены из никелированных латунных стержней диаметром $\frac{1}{2}$ дюйма. Расстояние между искрящими цилиндрическими основаниями стержней составляло около одного дюйма. Для изменения искрового промежутка верхний вертикальный электрод имел регулировочный винт. Такая конструкция разрядника позволяла получить исключительно чистую, резкую искру при полном отсутствии дуги на частоте около 60 Гц, в то время как частота колебательного контура была значительно выше. Спираль (катушка индуктивности) H в цепи разрядника играла наиболее важную роль в операциях настройки (англ. *syntony*) передатчика на нужную частоту передачи. Она состояла из четырех витков дюймовой никелированной медной трубки и имела диаметр около 18 дюймов (46 см). С помощью подвижного контакта P можно было изменять степень самоиндукции спирали.

В Холихеде аппарат был установлен на вершине утеса на высоте 400 футов (122 м) над уровнем моря, где для поддержки антенны использовалась мачта высотой 180 футов [32]. Естественно предположить, что на такой высоте будут созданы идеальные условия для беспроволочной связи. Однако это было не так, так как скала имела неблагоприятный рельеф, рис. 19. По этой причине успешные результаты экспериментов заслуживают еще большей похвалы, поскольку связь между станциями поддерживалась практически только свободными волнами Герца, т. е. волны не сопровождали обычные земные токи.

Приемное устройство (рис. 19) Фореста отличалось схемными решениями от ранее им использованных [32]. Введена регулируемая индуктивность L и регулируемая емкость N для изменения постоянной времени колебательного контура, чтобы получить максимальный эффект при настройке контура на принимаемые волны Герца. В приемнике еще имелось одно устройство для достижения наилучшего эффекта его работы —

потенциометр R , изменяя который в телефонной трубке можно получить максимально громкий звук. Для детектирования сигнала использовался электролитический детектор O по конструкции схожий с тем, который был применен в приемнике *Responder* (рис. 16). Этот детектор («ответчик»), как известно, не был защищен патентными правами по причинам, которые были указаны выше.

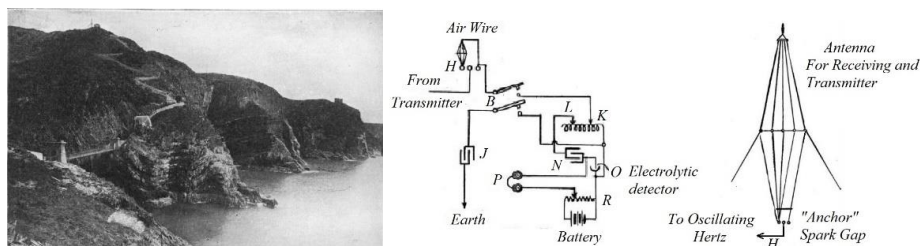


Рис. 19. Рельеф побережья в районе станции беспроволочной телеграфии Холихед (слева), принципиальная схема приемника станции и конструкция ее антенны (справа) [32]. 1903 г.

Fig. 19. Coastal relief near Holyhead wireless telegraphy station (left), schematic diagram of the station receiver and the design of its antenna (right) [32]. 1903

Одно из главных преимуществ предложенной для демонстрации системы беспроволочного телеграфа в Англии заключается в том, что, пока частота излучающей искры поддерживается практически постоянной, никаких регулировок не требуется. Это является значительным преимуществом и позволяет работать менее квалифицированному оператору, чем в тех случаях, когда необходимо выполнять сложные и тонкие настройки. Никаких претензий к настройке (*syntony*) во время испытаний не было. Напротив, де Форест очень решительно высказал мнение, что абсолютная настройка в настоящее время совершенно невозможна. Это подтверждалось тем фактом, что в телефонной трубке можно было без трудностей различить колебания разных частот. Например, изменяя частоту обычного электрического звящего звонка и держа его рядом с антенной, можно было бы отслеживать изменения колебаний с большой точностью. Таким образом, фактически принималась реальная частота излучаемых колебаний. В ходе экспериментов двигатель замедлился, и, как следствие, частота проходящей искры уменьшилась. Это сразу же заметил хорошо обученный телеграфист из Хоута, который почти сразу же отправил следующее сообщение: «Я вам сочувствую. Я слышу, как замедляется ваш двигатель». Однажды разразился сильный град, и звуки, слышимые в телефонной трубке, были такими, что можно было предположить, что град несет электрический заряд. Слышался непрерывный треск, но, невзирая

на это, без малейшего затруднения можно было различить сигналы, посылаемые на расстоянии 65 миль. Также были приняты, помимо случайных сигналов, и атмосферные разряды, но без сомнений было определено, что такие импульсы не относятся к передатчику в Хауте (*Howth*). Можно с полной уверенностью сказать, что, если бы в то время искра могла передать четкую речь, то проблема беспроводной телефонии была бы решена. В интервью де Форест заявил, что он работает над этим вопросом в настоящее время и думает, что это будет достигнуто за счет использования постоянного тока очень высокого напряжения с применением эффекта «говорящей дуги».

Аппаратура де Фореста успешно проработала несколько недель. Во время экспериментов измеренная скорость передачи составила от 10 до 20 слов в минуту, в то время как в одном случае не менее 16 слов были правильно получены за 30 секунд. Чтобы тесты не вызывали подозрений, было разрешено экспериментаторам выбирать собственные тексты сообщений, которые затем отправлялись в Хоут и повторно передавались в течение нескольких минут. Скорость передачи для всех сообщений, а не только для нескольких, выбранных без разбора, не опускалась ниже 20 слов в минуту.

На испытаниях во вторник, 1 декабря 1903 г., присутствовали от Главного почтового ведомства его главный инженер Джон Гэвей (*Sir John Gavey*), помощник секретаря телеграфа Джон Ардрон (*John Ardron*), представители военного министерства и Адмиралтейства, а также генеральный директор Ньюфаундленда Буреелл (*Burehell*). До этого, в прошлый вторник, работа системы была продемонстрирована представителям правительства Нидерландов. Во время испытаний некоторые из официальных лиц сами передавали и принимали сообщения с аппаратов. В своих комментариях они отметили легкость, с которой можно было управлять аппаратом и читать сообщения.

В отчете журнала *Scientific American* об испытаниях системы Фореста было подчеркнуто два важных момента [32]. Во-первых, система де Фореста обрабатывала трафик со скоростью 30 слов в минуту, что оказалось самой высокой скоростью среди всех беспроводных систем. Достигнутая скорость 30 и более слов в минуту почти 2—3 раза превышала рабочую скорость Маркони и аналогичных систем, основанных на когерерах. Однако, как это часто бывает, лучшее не всегда оправдывает ожидания. Не в интересах членов британского истеблишмента и влиятельных лиц, которые уже владели акциями компании *Marconi*, было подписывать контракт *General Post Office* с де Форестом.

13. Русско-японская война 1904—1905 гг.

В конце декабря 1903 г. после конкурсной демонстрации беспроводной связи для *General Post Office* на трансатлантическом лайнере *Majestic* компании *White Star Line* из Ливерпуля в Нью-Йорк возвращался Ли де Форест. Форест был удручен и чувствовал, что не получил заказы на свое оборудование только из-за британского *hauteur* (высокомерия). Однако настроение де Фореста резко изменилось, когда он встретил на борту корабля британского военного корреспондента капитана Лайонела Джеймса (*Captain Lionel James*). Джеймс был осведомлен о положении на Дальнем Востоке, где между Россией и Японией назревала война из-за спорных территорий в Маньчжурии и Корее. Четыре года назад он рискнул и предложил себя в качестве специального военного корреспондента лондонской газеты *The Times* на театрах военных действий. Он сообщал об англо-бурской войне и был с генералом Китченером¹⁸ в Судане (*General Kitchener in the Sudan*). На этом он сделал себе имя в качестве военного корреспондента в мировой прессе. Между Форестом и Джеймсом случайно возник разговор об использовании беспроводной связи для передачи сообщений о русско-японской войне. Форест рассказал Джеймсу о своей системе связи и убедил его в том, что она лучше системы Маркони, так как позволяет передавать сообщения азбукой Морзе с корабля на берег быстрее и на расстояние до 170 миль (333 км). Во время путешествия было решено, что, если Джеймс сможет убедить *The Times* вложить деньги, то Форест предоставит беспроводное оборудование и инженеров для создания станции в любом месте на побережье Китая.

Джеймс предположил, что если разразится война, то большая часть военно-морских действий будет происходить в Желтом море, которое окружено береговой линией Маньчжурии, Кореи и Китая. К северу находилась российская военно-морская база Порт-Артур. Если бы он смог зафрахтовать достаточно быстрый пароход и получить разрешение от японского военно-морского флота на плавание среди его кораблей, то это был бы хороший шанс с помощью беспроводного оборудования де Фореста опережать своих коллег корреспондентов в передаче военных сводок не только на несколько часов, но и дней. Запоздывание передачи информации у коллег было связано с поиском телеграфных кабельных станций, с которых можно отправлять отчеты.

¹⁸ Горацио Герберт Китченер (англ. *Horatio Herbert Kitchener, 1st Earl Kitchener*; 24.06.1850—05.06.1916) в 1895—1898 гг. в качестве командующего англо-египетскими войсками руководил подавлением восстания махдистов в Судане. В результате Судан был превращен в английскую колонию. В 1899 г. — генерал-губернатор Судана.

Джеймс разработал планы по установке корабельных и береговых станций беспроволочной связи у побережья Китая и на его территории. Затем он убедил *The Times* не только в том, что этот проект сработает, но, что еще более замечательно, вложить в него деньги. Ему удалось получить 1000 фунтов стерлингов от *The Times*. В конце 1903 г. компания *American De Forest Wireless Telegraph* заключила контракт с лондонской газетой «Таймс» (*London "The Times"*) на предоставление новостей о русско-японской войне.

Форест с некоторыми трудностями сумел забрать свое оборудование беспроволочной телеграфии из Ирландии, где в конце 1903 г. проходила конкурсная демонстрация его системы связи. Джеймс нашел добровольцев, которые доставили его в зону боевых действий и установили радиооборудование, весившее 4 т. Он обосновался на британской военно-морской базе Вэй-Хай-Вэй¹⁹ (англ. *Wei-Hai-Wei*), которая оказалась подходящим местом для беспроволочной станции, рис. 20. Компания *De Forest Wireless Telegraph* откомандировала для обслуживания корабельной и береговой радиостанций двух своих сотрудников Г. Дж. Брауна (*H. J. Brown*) и Г. Э. Ахерна (*H. E. Ahearn*). В полдень 16 января сотрудники компании отправились из Нью-Йорка в Ванкувер, где сели на пароход и отплыли в Японию.

Джеймс нанял в Гонконге пароход «Хаймун» (*Haimun*) водоизмещением 1200 тонн за 3000 фунтов стерлингов в месяц, что по тем временам было очень большая сумма, рис. 20. Его помощник Давид Фрейзер (*David Fraser*), младший репортер, сумел установить передатчик на мачте корабля, используя труд 50 китайских рабочих и 150 военно-морских служащих. В составе корабля находилось шесть европейских офицеров, команда из 40 китайских и четырех малайских квартирмейстеров (нем. *Quartiermeister*, англ. *Quartermaster*) [33]. Для приемной радиостанции был выбран холм на острове *Liu Kung Tao Island (Liugong Island)*. Высота его вершины составляла около 350 футов (107 м) над уровнем моря. Обслуживал приемную станцию 21-летний Г. Ахерн. Полученные военные сводки в бумажном виде доставлялись китайцем-курьером в офис компании *Eastern Extension Telegraph and Cable Co.*, который находился в 1,5 милях от приемной станции. Курьер преодолевал этот путь за 12 минут и получал за свою

¹⁹ Британский Вэй-Хай-Вэй (*British Weihaiwei*), расположенный на северо-восточном побережье Китая, был арендованной территорией Соединенного Королевства с 1898 по 1930 год. Столицей был Порт-Эдвард (ныне известный как «Вэйхай» — *Weihai*). Арендованная территория покрывала 288 квадратных миль (750 км²) и включала обнесенный стеной город Порт-Эдвард, залив Вэй-Хай-Вэй, остров Лю-гун и материковую часть береговой линии протяженностью 72 мили (116 км), идущую вглубь суши до 10 миль (16 км). Вместе с Люшуньюкоу (*Порт-Артур*) он контролировал вход в залив Чжили (*Gulf of Zhili*) и подходы к Пекину со стороны моря.

работу \$4 в месяц. При этом никаких задержек не происходило. Менее чем через полчаса после доставки сообщение передавалось по кабелю.

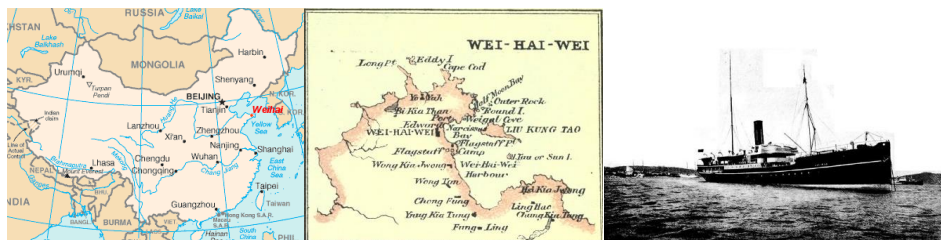


Рис. 20. Карта Китая с указанием местоположения Британского Вэй-Хай-Вэй и пароход «Хаймун», арендованный военным корреспондентом газеты *The Times* Лайонелом Джеймсом во время русско-японской войны 1904—1905 гг.

Fig. 20. Map of China showing the location of the British Wei-Hai-Wei and the steamboat “Haimun” leased by the war correspondent of *The Times* Lionel James during the Russo-Japanese War of 1904–1905

Военные корреспонденты других газет, когда узнали о замысле Джеймса, выразили протест британскому министру в Токио, в котором предупредили, что пароход среди японских линкоров будет вопиющим нарушением нейтралитета. Джеймсу, несмотря на протесты, удалось договориться с государственным министром японского флота о его работе.

На борту корабля «Хаймун», помимо экипажа и двух радистов, которые работали с передатчиком, рядом с Джеймсом находился еще капитан японского флота Тонами (*Tonami*), который выполнял функции цензора, рис. 21. Готовность британского журналиста подвергнуться японской цензуре, а также предоставить информацию японской стороне привела к тому, что его далеко идущий эксперимент через некоторое время сорвался. 8 марта 1904 г. «Хаймун» вышел из Нагасаки. У Порт-Артура Джеймс увидел эскадру русских линкоров. Эта информация стала содержанием его первого сообщения в газету. В ней он отметил, что некоторые из кораблей оказались непригодными для плавания. Это была важная информация, которую он также передал японскому флоту. Первое сообщение с увиденной информацией было 14 марта 1904 г. передано Гарри Брауном из радиорубки парохода «Хаймун» в Желтом море на береговую радиостанцию беспроводного телеграфа Вэй-Хай-Вэй, рис. 21. Из Вэй-Хай-Вэй сообщение по проводному телеграфу пришло в Лондон. На следующий день во вторник, 15 марта 1904 г., военная сводка появилась в газете *The Times* в колонке «Последние данные разведки» с пометками: «От нашего специального корреспондента», «Газета *The Times* Steamer Haimun» и «Сеул, 12 марта, через Вэй-Хай-Вэй».



Рис. 21. Британский флот в гавани Вэйхайвэй (1902—1903 гг.). Беспроводная станция в *Weihaiwei*, построенная сотрудниками де Фореста Гарри Брауном и Г. Е. Ахерном, с мачтой высотой 170 футов (52 м) [34]. Гарри Браун, Поп Атерн, Лайонел Джеймс и офицер Тонами (справа) стоят перед беспроволочной станцией в Вэйхайвэй. 1904 г. [34].

Fig. 21. British fleet in harbour, Weihaiwei (1902–1903). The wireless station at Weihaiwei built by de Forest employees Harry Brown and H. E. Ahearn, with a 170-foot tall mast (52 m) [34].

Harry Brown, H. E. Ahearn, Lionel James and Commander Tonami (on the right) standing in front of the wireless station at Weihaiwei in 1904 [34]

В течение нескольких дней «Хаймун» ждал, когда снова появятся русские корабли. Ожидания оправдались в виде русского тяжелого крейсера «Баян». Джеймс послал в *The Times* экстренное сообщение: «Срочно, нас вот-вот посадят на борт русские». Он быстро замаскировал своего японского агента под малайского квартирмейстера и отправил его на мостик, где он якобы отвечал за штурвал корабля. Русские военные при осмотре «Хаймуна» не заметили на борту японца. Они ушли в спешке, когда Джеймс сказал им, что видел поблизости четыре японских крейсера. История не соответствовала действительности, но уловка сработала, правда, ненадолго. Вскоре экипаж «Хаймуна» стал свидетелем катастрофы эскадренного броненосца «Петропавловск»²⁰. Джеймс получил сообщение от *The Times*, в котором говорилось, что по имеющейся информации, русские в случае захвата судна будут обращаться с ним как со шпионом, а его оборудование будет конфисковано.

В начале весны 1904 г. Джеймс с судном «Хаймун» сумел добиться потрясающих успехов в сборе информации для военных сводок. Он отправлял от 400 до 2000 слов в день по беспроволочной связи в Вэй-Хай-Вэй. Первым заметным достижением беспроволочной системы стала депеша капитана Джеймса, датированная 20 марта «В море с японским флотом». Это самая впечатлительная депеша, которая пришла с театра военных дей-

²⁰ 31 марта 1904 г., во время выхода в море, броненосец «Петропавловск» налетел на минную банку (3 мины) и затонул в течение двух минут. Погибло 650 человек, в том числе адмирал Макаров и известный художник-баталист Верещагин.

ствий в тот период времени. Она содержала описание торпедных атак японского флота на Порт-Артур и рукопашных схваток японских и русских моряков. Сообщение об этих событиях было напечатано 21 марта в *The London Times* и *The New York times*.

Корабль Джеймса оказался полезным источником информации не только для прессы, но и для японцев. Однако вскоре у Джеймса возникли проблемы. Русские выразили протест и обвинили его в шпионаже. Британские военно-морские власти на Дальнем Востоке были недовольны тем, что он построил базовую станцию беспроводного телеграфа без разрешения главкома. Адмиралтейство, министерство иностранных дел и министерство по делам колоний были не готовы оказывать ему поддержку. Редакция *The Times* все больше разочаровывалась в этом предприятии Джеймса. Японцы тоже устали от появления «Хаймуна» в море перед их флотом. Они решили запретить в течение нескольких недель «Хаймуну» выходить в море, в частности, приближаться к месту боевых действий возле Порт-Артура. Джеймс безуспешно пытался снять ограничения на его передвижение. Его надежды на дальнейшие успехи не оправдались. Миссия «Хаймуна» была прекращена, а антенные мачты в *Wei-Hai-Wei* были разобраны. Американские связисты 10 июля отправились домой. Сначала они из *Wei-Hai-Wei* поплыли в Шанхай, а уже оттуда 13 июля на океанском лайнере *Doric* компании *Oriental and Occidental Steamship Co.* отплыли в Сан-Франциско.

Джеймсу пришлось присоединиться к другим военным корреспондентам, с которыми японская армия обращалась грубо. Он, тем не менее, добрался до Маньчжурии и стал свидетелем победы японцев при Ляояне. Свой пространственный и не прошедший цензуру отчет об этой победе ему удалось отправить телеграммой с территории Китая после трудного побега из Маньчжурии. Необходимые средства для отправки телеграммного сообщения он занял у Джорджа Моррисона (*George Morrison*), пекинского корреспондента *The Times*.

14. Всемирная выставка в Сент-Луисе

В 1904 г. в г. Сент-Луисе в Соединенных Штатах (штат Миссури) состоялась Всемирная Луизианская выставка (англ. *Louisiana Purchase Exposition*), приуроченная к празднованию столетней годовщины покупки территории Луизианы. Выставка работала с 30 апреля по 1 декабря. Она не имела себе равных по объемам вложенных в нее средств и размерам общей площади, составившей почти 5 кв. км. Это была крупнейшая из всех выставок, предшествовавших первой мировой войне, рис. 22. Экспозиции

представили 62 страны²¹. Все павильоны были сделаны из гипса и рассчитаны на небольшой срок эксплуатации.

На выставке в павильоне «Дворец электричества и машин» была представлена беспроводная телеграфия компанией *De Forest Wireless Telegraphy*. На Всемирную выставку в Сент-Луисе губернатором штата Миссури был приглашен и Гульельмо Маркони. Маркони знал, что его главный соперник Ли де Форест и другие конкуренты принимают в ней участие. Как лидер рынка беспроводной телеграфии Маркони решил, что ему не следует придавать легитимность своим конкурентам, особенно на период краткосрочной выставки.

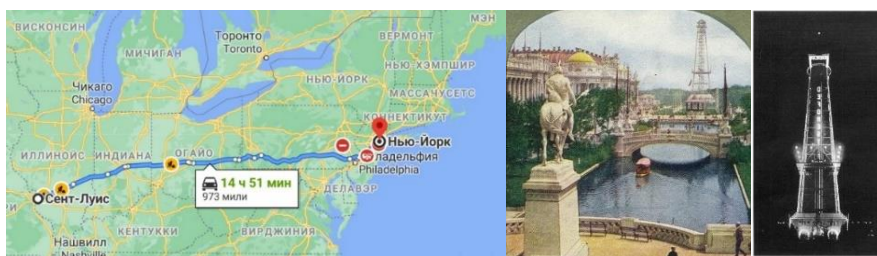


Fig. 22. Путь из Нью-Йорка до Сент-Луиса. Общая панорама Луизианской выставки закупок с видом на смотровую башню американской компании *DeForest Wireless Telegraph* (в центре). Смотровая башня де Фореста ночью (справа). Фотография 1904 г.

Fig. 22. Way from New York to St. Louis. General panorama of the Louisiana Purchasing Exhibition overlooking the observation tower of the American company *DeForest Wireless Telegraph* (center). Observation tower *DeForest* at night (right). Photograph from 1904

Если Маркони отклонил предложение об участии, то Ли де Форест никогда не отказывался от возможности экспонироваться и показать себя. Он потратил 10 000 долларов на то, чтобы снять смотровую башню с Ниагарского водопада и заново установить ее в Сент-Луисе (с добавлением его имени, украшенного огнями на вершине башни). Башня была законной и использовалась для таких экспериментов, как поддержка первого автомобиля, оборудованного беспроводным приемником.

Чтобы убедиться, что посетители видели все эти эксперименты, а также имя *De Forest* на башне, операторам искрового телеграфа предписали, что всякий раз, когда толпа посетителей начинает редеть вокруг башни, они

²¹ Россия предполагала участвовать в выставке, но русско-японская война и напряженные русско-американские отношения внесли свои коррективы. Все это происходило на фоне негативного отношения к самодержавию в Америке. Правительство решило отказаться от участия в выставке, ссылаясь на отказы «промышленников и торговцев от посылки их экспонатов в Америку». В январе 1904 г. наполовину возведенное здание русского павильона, выполненное в древнерусском стиле с луковичными-маковками, было демонтировано. Осталась только частная экспозиция художественных произведений Репина, братьев Маковских и Верещагина, а также вагон Транссибирской железной дороги.

гии, позже были установлены в Чикаго и Канзас-Сити, когда в этих двух местах смонтировали приемные станции.

На станции беспроводного телеграфа в Правительственном здании работали два комплекта аппаратуры, представленные Корпусом связи США и тремя другими участниками выставки. На территории выставки находилось две электростанции: одна в Форт-Уэйне (*Fort Wayne-Station*), а другая в здании де Фореста. На электростанциях использовались генераторы мощностью 2 кВт с выработкой электроэнергии частотой 60 Гц и напряжением 110 вольт. В искровом передатчике Фореста первичное напряжение преобразовывалось в 20000 В, которое со вторичной обмотки трансформатора, зашунтированной блоком конденсаторов из 18 лейденских банок емкостью 0,013 МФ, подавалось на искровой разрядник.

В главном здании выставки находился Форест со своим беспроводным приемным устройством для приема телеграмм со станции Форт-Уэйн. Место приема находилось примерно в 400 футах (122 м) от станции Тауэр (*Tower-Station*) и примерно на расстоянии 0,5 миль (0,8 км) от станции дальней связи, построенной на Артилле (*Arthill*). Эта последняя из всех станций выставочного комплекса имела самую большую антенную сеть. Антенна находилась на высоте около 210 футов (64 м) и крепилась на 40-футовой (12 м) траверсе, поддерживаемой деревянным каркасным сооружением. Горизонтальный провод был протянут выше соединительной траверсы, и к нему были подключены двадцать вертикальных проводов, каждый длиной 250 футов (76 м), которые загибались наружу с помощью оттяжек. Антенны выходили двумя секциями по 10 проводов на крышу здания, откуда отправлялись телеграммы. Приемные антенны находились отдельно от главного здания, которое располагалось у подножия мачты. Заземление состояло из медных пластин. Одна часть из них площадью 140 кв. футов (13 м²) была установлена над землей, а другая — на глубине 8 футов (2,5 м). Также были приняты меры, чтобы почва вокруг этих пластин оставалась полностью влажной.

На выставке работали два небольших транспортных средства, которые были оснащены аппаратурой беспроводного телеграфа. Эти подвижные средства связи достаточно успешно использовались для отправки с помощью беспроводной телеграфии котировок и курсов акций с Нью-Йоркской фондовой биржи Корб (*New York Corb Stock Exchange*) в офис комиссара на Брод-Уолл-стрит (*Broad Wall Street*).

14 августа было осуществлено беспроводное телеграфное сообщение на расстоянии 300 миль между Сент-Луисом и Чикаго. По этому поводу г-н У. Э. Голдсборо (*W. E. Goldsborough*), начальник электрического

отдела выставки, послал следующую телеграмму: «Я имею честь как эксперт сообщить, что каждую телеграмму, отправленную из Сент-Луиса, можно с абсолютной точностью получить в Чикаго» [35].

Во время празднования на выставке Дня электричества Форест получил медаль Гранд-приз (*Grand Prize Exposition Medal*) за выдающиеся достижения в области беспроводной телеграфии, рис. 24.



Рис. 24. Медаль Гран-при. Всемирная выставка в Сент-Луисе, 1904 г. Бронза, 74,3 мм × 60,2 мм, 149,7 г. Справа — целлулоидный значок с надписью: «ВСТРЕЧАЙТЕ МЕНЯ В БАШНЕ». AMERICAN DE FOREST WIRELESS TELEGRAPH CO.

Изображение башни Ли де Фореста на выставке.

Fig. 24. Grand Prize Medal. St. Louis World's Fair 1904. Bronze, 74.3 mm × 60.2 mm, 149.7 gm. On the right is celluloid badge with lettering "MEET ME IN THE TOWER". AMERICAN DE FOREST WIRELESS TELEGRAPH CO. Image of the Lee de Forest tower at the fair

15. Международный электротехнический конгресс в Сент-Луисе

В Сент-Луисе в связи с Всемирной выставкой по купок с 12 по 17 сентября 1904 г. состоялся Международный электротехнический конгресс (*International Electrical Congress*). Открытие конгресса состоялось в понедельник в главном здании выставки *Festival Hall*, рис. 25. За пять рабочих дней было рассмотрено около 160 докладов по электротехнике. На самом деле было настолько большое количество докладов и настолько широкий круг вопросов, которые они рассматривали, что можно сказать: нет ни одной области электротехники, к которой не обращались бы в той или иной мере во время встреч. Тем не менее, главный научный интерес в работе сосредоточился вокруг нескольких тем, а именно: единиц и эталонов, радиоактивности, беспроводного телеграфирования и электрической дуги. Из технических работ наибольшее внимание привлекли работы по двигателю переменного тока, паровой турбине и передаче высокого напряжения. Также было много статей по электрохимическим и электротерапевтическим темам [36].

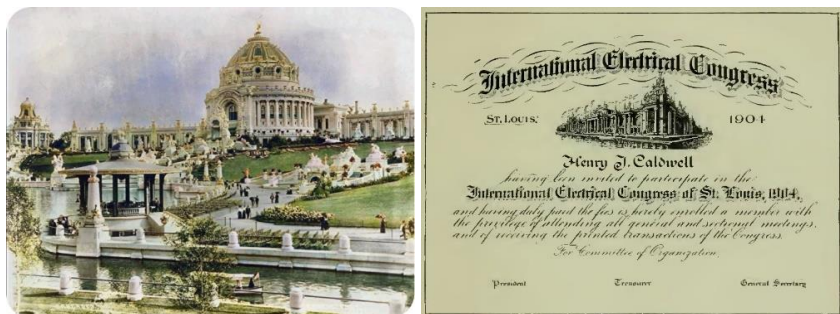


Рис. 25. Общий вид *Festival Hall*, в котором состоялось открытие Международного электротехнического конгресса в Сент-Луисе в 1904 г. Сертификат участника конгресса. Миниатюрная копия сертификата без подписей.

Fig. 25. General view of the Festival Hall, where the opening of the International Electrical Congress in St. Louis, 1904, took place. Electrical congress membership certificate. Miniature copy of the certificate without signatures

Доклады по беспроводному телеграфированию были заслушаны на секции G (Section G Electric Communication). Работа секции G проходила под руководством ее председателя Ф. У. Джонса (*F. W. Jones*, Нью-Йорк) и секретаря Бэнкрофта Герарди (*Bancroft Gherardi*, Нью-Йорк). Всего на секции было сделано 20 докладов. Д-р Флеминг и д-р де Форест представили статьи по беспроводному телеграфу, а американский физик Карл Гуте (*Karl Eugen Guthe*, 05.03.1866—10.09.1915) по согласованию с секретарем секции представил доклад под названием *The silver voltameter*. Из математических работ по теории радиосвязи отметим доклад *The Theory of Wireless Telegraphy* американского радиотехника Стоуна (*John Stone Stone*, 24.09.1869—20.05.1943). Статья *The Present State of Wireless Telegraphy* Флеминга имела хорошее общее резюме по этому вопросу, но содержала очень мало нового.

Доклад Фореста *Wireless Telegraph Receivers* можно считать его итоговым трудом по исследованию электролитического детектора, которые он провел в течении четырех лет. Доклад [37], а потом его публикация в виде статьи [38] содержал как новые научные результаты на тот момент, так и раннее опубликованные.

Главный интерес к статье де Фореста был сосредоточен на экспериментах, которые он описывал, чтобы доказать, что действие его электролитического приемника вызвано поляризацией, а не нагревом электролита, как утверждал Фессенден. Электролитический приемник состоял по существу из очень маленького электрода, погруженного в электролит, причем второй большой электрод был соединен последовательно с гальваническим эле-

ментом и телефоном. Через приемник протекает, обычно, очень небольшой ток, который значительно усиливается, когда через него проходят электрические колебания. Форест утверждал, что это вызвано колебаниями, разрушающими поляризацию на небольшом электроде, и одно из наиболее убедительных заявлений, которые он делал в пользу этой точки зрения, состояло в том, что небольшой электрод должен быть анодом, а приемник практически не работает, если он подключен к минусу батареи питания. Этого, конечно, не было бы, если бы действие зависело от нагрева электролита, на который не должна влиять полярность подключенной батареи питания.

Форест сделал краткий обзор области когерентных индикаторов электрических волн, а после этого подробно рассказал о результатах своих семи проведенных экспериментов с электролитическим детектором. Остановимся на седьмом эксперименте, в котором Форест изложил свою теорию функционирования электролитического детектора.

В этом эксперименте конденсатор небольшой емкости (две—три тысячные доли микрофарада) шунтировал детектор, который был включен в ненастроенную цепь. Конденсаторный шунт почти полностью подавлял музыкальную ноту в приемнике, но очень мало влиял на нерегулярный гул. В ненастроенной цепи конденсаторный шунт снижает рост потенциала из-за принимаемых колебаний. Поскольку шунт мало влиял на грохочущую ноту, можно предположить, что это действие антикогерера вызывает разрушение и повторное формирование проводящего моста. Этот эффект вызван током, на который шунт мало влияет. Гальванометр в локальной цепи показал большее уменьшение тока в ответном состоянии с включенным шунтом, чем с выключенным. Это указывает на то, что в антикогерере было три состояния сопротивления: 1. Очень низкое сопротивление из-за проводящего моста, 2. Сравнительно высокое сопротивление из-за разрыва моста и 3. Очень высокое сопротивление из-за разрыва перемычки и поляризации сломанных концов перемычки.

Если протекание тока в локальной цепи представить графически, то отклик электролитического детектора на сигнал, состоящий из шести импульсов, будет выглядеть так, как показано на рис. 26 [38].

Для упрощения шесть импульсов рассматриваются как одиночные однонаправленные импульсы. Линия *ab* представляет собой нормальный ток, протекающий через анти-когерер, когда никакие импульсы не принимаются и детектор имеет низкое сопротивление. Первый импульс разрушает мост, и линия *bc* представляет собой падение тока из-за повышения сопротивления, быстрое прохождение детектора через второе состояние в третье или состояние поляризации с очень высоким сопротивлением.

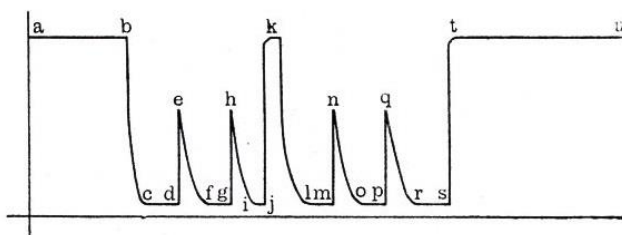


Рис. 26. Идеализированная кривая, опубликованная де Форестом, показывающая реакцию электролитической ячейки с близко расположенными электродами на шесть всплесков колебательного напряжения, представляющую шесть точек Морзе [38, с. 97].

Fig. 26. Idealized curve published by de Forest showing the response of an electrolytic cell with closely spaced electrodes to six bursts of oscillatory voltage, representing six Morse dots [38, p. 97]

Можно считать, что импульсы в этом сигнале отличаются друг от друга с интервалом в одну сотую секунды. От *c* до *d* детектор остается высокоустойчивым, а в *d* приходит второй импульс. Этот второй импульс нарушает поляризацию, и детектор мгновенно переходит во второе состояние сравнительно высокого сопротивления. Затем он действует как электролитический когерер, причем повышение тока происходит из-за разрушения поляризационного слоя, который почти мгновенно повторно формируется; ток снова падает, как показывает *ef*. Это повторяется третьим импульсом. Между третьим и четвертым импульсами мост успевает переформироваться, но снова разрушается четвертым импульсом, о чем свидетельствует падение тока *kl*. Пятый и шестой импульсы приводят в действие устройство для уменьшения сопротивления, и после последнего импульса мост успевает переформироваться, что показано повышением тока *st*, при этом состояние низкого сопротивления *tu* сохраняется до следующего сигнала. Грохочущий звук, который слышен в телефоне, связан с периодической перестройкой моста, как показано на *k*. Видно, что в то время как разрушение моста осуществляется током, противоположное действие происходит из-за потенциала, так что шунт конденсатора устраняет пики тока *ehmq*, оставляя детектор с очень высоким сопротивлением от *c* до *j* и от *e* до *s*. Это не только устраняет музыкальную ноту, слышимую в телефонной трубке, но и уменьшает отклонение гальванометра во время ответа. На рис. 26 представлена идеальная кривая, и она никак не связана с реальным током в устройстве.

Возвращаясь к первому рассмотренному виду электролитического детектора, очевидно, что, хотя он и способен выпрямлять высокочастотные токи, но это выпрямление не является важным его качеством. Подобно когереру из металлических опилок, энергия в локальной цепи поступа-

ет от местной батареи, причем основной эффект принимаемых колебаний заключается в высвобождении этой энергии. Установлено, что в его конструкции одни электролиты дают лучшие результаты, чем другие. По всей видимости, это частично связано с их относительной способностью поглощать кислород. Например, гипофосфорная кислота (известна как фосфиновая кислота) дает гораздо лучшие результаты, чем фосфорная кислота, а азотная кислота с определенным количеством закиси лучше, чем одна азотная кислота. Поскольку метаислоты (англ. *ous acids*) содержат меньше кислорода, чем бинарные кислоты (англ. *ic acids*), то это и есть вероятно причина разницы.

Из проделанного Форестом исследования следовал вывод о том, что электролитические «ответчики», которые были описаны, по-видимому, обладают в высшей степени качествами, необходимыми для того, чтобы сделать их базовыми компонентами беспроводной телеграфии, которая способна конкурировать с существующей телеграфной службой как на суше, так и на море. Эти детекторы очень чувствительны, самовосстанавливающиеся, имеют приблизительно постоянные величины сопротивления и емкости. При этом скорость передачи слов ограничена только способностью операторов посылать и принимать.

Таким образом, проблема электрической настройки, или синтонии (англ. *syntony*), значительно упрощается, поскольку до сих пор неустойчивая природа когерера делала невозможным точную установку режима его работы в настроенных электрических цепях, в которые он включен. В этом случае синтонизация с его использованием в лучшем случае получалась размытой и неопределенной. По четкости действия «ответчик» сопоставим с магнитным детектором Резерфорда и разработками Вильсона (*Wilson*), Шумейкера (*Shoemaker*), Маркони и Юинга (*Ewing*).

После доклада Фореста состоялась дискуссия, в которой приняли участие: председатель секции G Ф. Джонс (*F. W. Jones*), Эдвин Смайт, Дж. С. Стоун, Дж. Ивес (*J. E. Ives*), Реджинальд Фессенден.

В заключение необходимо сказать, что съезд прошел успешно, возможно, даже более успешно, чем можно было ожидать, учитывая то большое расстояние, которое приходилось преодолевать многим членам, чтобы присутствовать на его собраниях. Такой результат во многом был связан с неутомимой энергией его организаторов, и особенно президента конгресса проф. Элиху Томсона (*Elihu Thomson*), генерального секретаря доктора Кеннели (*A. E. Kennelly*) и казначея г-на Уивера (*W. D. Weaver*). Встречи были хорошими, и если обсуждения не всегда были настолько полными, насколько хотелось бы, то это было не из-за отсутствия интере-

са к докладам, а из-за нехватки времени. Все иностранные участники конгресса, независимо от национальности, были тепло приняты и развлекались со своими американскими собратьями, что полностью подтвердило всемирную репутацию Америки в области гостеприимства.

16. Заключение

Ранний период научной и изобретательской деятельности Ли де Фореста в области беспроволочной телеграфии условно охватывает конец XIX века и начало XX века. В этот период времени он с большим упорством, достойным большого уважения, стремился разработать совершенный чувствительный самовосстанавливающийся когерер. Это ему удалось. Его конструкция волноуказателя получила известность под названием «ответчик». Создание де Форестом собственной компании сделало его независимым в научно-технических разработках и позволило составить конкуренцию на рынке услуг беспроволочной телеграфии, в частности, компании Маркони и другим. Между 1902 и 1906 гг. Форест получил 34 четыре патента на различные конструкции беспроводного телеграфирования. «Ответчик», над которым он работал так долго, никогда не оказывался удовлетворительным. Он надеялся получить прибыль от своих изобретений, но в результате был обманут своими деловыми партнерами и к 1906 г. его компания обанкротилась. Это не остановило его стремление разработать конструкцию детектора, которая бы совершила революцию в радиотехнике. Он как птица феникс, подымался из пепла после ударов судьбы и настойчиво шел к своей цели.

Список литературы

1. Hijiya James A. Lee de Forest and the fatherhood of radio. London and Toronto. Lehigh University Press, 1992. P. 28.
2. Adams Mike. Lee de Forest King of Radio, Television, and Film. Published in the United States by Copernicus Books, an imprint of Springer Science+Business Media, LLC. 2012. 556 p.
3. Forest Lee De. Reflection of Hertzian waves at the ends of parallel wires // American Journal of Science. July 01, 1899. Vol. s4-8. Issue 43. P. 58–71.
4. 120 years old, 30 years young, and a library for all time. URL: <https://www.lib.uchicago.edu/about/news/120-years-old-30-years-young-and-a-library-for-all-time/> (07.02.2021).
5. Neugschwcnder A. A new method of detecting electric waves // Annalen der physik und chemie. Neue folge. 1899. Band 67. S. 430–432.
6. Neugschwender Albert. Elektrischer apparate und maschinen. Patentschrift DE107843. Patentirt im Deutschen Reiche vom 13. Dezember 1898 ab.
7. Aschkinass E. Theoretisches und Experimentelles über den Cohärer // Annalen der Physik und Chemie. 1898. Band 66. No. 2. S. 284–307.

8. Schäfer Johann Chr., Lippold Paul und Renz E. Patentschrift DE121663. Empfangsapparat für elektrische Wellen. Patentirt im Deutschen Reiche vom 31. Mai 1899 ab.
9. Marx Erich von. Über Antikohärer // Physikalische Zeitschrift. 26 Januar 1901. No. 17. S. 249–253.
10. Elaine Robert Gordon. Aetheric or Wireless Telegraphy. London. 1905. Biggs and sons, 139–140, Salisbury Court, E. G. P. 97–98.
11. Гурвич Л. Г. Новые исследования в области беспроволочной телеграфии // Электричество. Сентябрь 1901. № 17—18. С. 251.
12. Elaine Robert Gordon. Aetheric or Wireless Telegraphy. London. 1905. Biggs and sons, 139–140, Salisbury Court, E. G. P. 98–99.
13. Forest L. de. & Smythe E. H. Wireless Telegraphy. Patent US716203. Patented Dec. 16, 1902. Application filed Sept. 1, 1900.
14. Johnson W. S. & Fortier C. L. Electric wave telegraph. Patent US664869. Patented Jan. 1, 1901. Application filed Feb. 16, 1900.
15. Hijiya James A. Lee de Forest and the fatherhood of radio. London and Toronto. Lehigh University Press. 1992. 182 p.
16. Freeman C. E. Apparatus for utilizing electrical oscillations for signaling purposes. Patent US773069. Patented Oct. 25, 1904. Application filed Jan. 14, 1901.
17. A New System of Space Telegraphy // Western Electrician. July 27, 1901. Vol. 29, No. 4. P. 49–50.
18. Lee de Forest. Electrolytic Receivers in Wireless Telegraphy // Journal of the Franklin Institute. October 1904. Vol. 158, No. 4. P. 241–261.
19. Forest L. De & Smythe E. H. Apparatus for communicating signals through space. Patent US716000. Patented Dec. 16, 1902. Application filed July 5, 1901.
20. Wireless Telegraphy That Sends No Messages Except By Wire // New York Herald, October 28, 1901. P. 4.
21. Cuss Words in the Wireless // New York Sun, August 27, 1903. P. 1.
22. Fayant Frank. The Wireless Telegraph Bubble // Success magazine. June 1907. Vol. 10. Number 157. P. 387–389, 450, 451.
23. Russell K. M., Bishop C. O. Understanding Ivy Lee's declaration of principles : U.S. newspaper and magazine coverage of publicity and press a gentry, 1865–1904 // Public Relations Review, 2009. No. 35. P. 91–101.
24. The De Forest–Smythe Wireless Telegraph System // Electrical World and Engineer. July 26, 1902. P. 145–146.
25. Forest de Lee. Father of Radio. The Autobiography. 1st edition. Chicago. Wilcox & Follett Co., 1950. P. 135.
26. Dolkart Leo. Experiments in wireless telegraphy. College of engineering University of Illinois. Presented June 1903. P. 36.
27. The Perham Collection of Early Electronics at History San José.
URL: <http://perhamcollection.historysanjose.org/de-forest-responder-electrolytic-detector/> (04.02.2021).
28. English Test of De Forest Wireless Telegraph System // Electrical World and Engineer. New York, Saturday, January 2, 1904. Vol. 43, No. 1. P. 54–55.
29. Bartholomew (Bart) Lee. De Forest Fails in Ireland and Wales in 1903, and then Makes a Deal at Sea // AWA Review. 2012. Vol. 25. P. 155–160.
30. The de Forest wireless telegraph system // The Electrician, December 4, 1903. Vol. 52, No. 7. P. 240–242.

31. Forest Lee de. Concerning wireless telegraph transmitters // The Electrical Journal. November 27, 1903. Vol. 52, No. 8. P. 200–201.
32. The De Forest wireless tests across the Irish channel // Scientific American. January 16, 1904. Vol. 90, No. 3. P. 40.
33. Slattery Peter. Reporting the Russo-Japanese War, 1904-5 : Lionel James's first wireless transmissions to The Times. Folkestone, Kent United Kingdom : Global Oriental Ltd. 2004. 144 p.
34. Bartholomew Lee. Wireless – its Evolution from Mysterious Wonder to Weapon of War, 1902 to 1905 // The AWA Review. 2012. Vol. 25. P. 160–182.
35. Neapel Engen. Die drahtlose Telegraphie. Berlin. Verlag von Julius Springer. 1905. P. 60–66.
36. Duddell W. The St. Louis International Electrical Congress // Nature. October 27, 1904. No. 1826. Vol. 70. P. 638–640.
37. Forest Lee De. Wireless Telegraph Receivers. Transactions of the International Electrical Congress St. Louis, 1904 in three volumes. Volume III. J. B. Lyon company printers and binders Albany, N. Y. 1905. P. 573–594.
38. Forest Lee de. Electrolytic receivers in wireless telegraphy // The Electrician, November 4, 1904. Vol. 53, No. 3. P. 94–98.

Информация об авторе

Пестриков Виктор Михайлович, д. т. н., профессор Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-0466-881X.

Information about the author

Viktor M. Pestrikov, Dr. Tech. Sc., Professor, St. Petersburg State University of Film and Television, St. Petersburg, Russian Federation. ORCID 0000-0003-0466-881X.

УДК 929

Космополитизм С. М. Рытова в некрологе, посвященном академику Папалекси

Ермолов П. П.

*Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация
PPYermolov@sevsu.ru*

Получено: 30 ноября 2020 г.

Отрецензировано: 5 декабря 2020 г.

Принято к публикации: 10 декабря 2020 г.

Аннотация: В статье рассмотрены события, связанные с периодом борьбы в СССР с «буржуазным космополитизмом» и касающиеся издания в 1948 г. некролога, посвященного академику Н. Д. Папалекси. В противовес этому приводятся ссылки на современные работы, касающиеся наследия академика Папалекси, в которых делается акцент на его деятельности в России и СССР. Отмечается существование устоявшего эпонима «лампа Папалекси».

Ключевые слова: Страсбург, Кембридж, Берлин, РОБТиТ, Одесский политехнический институт, Одесский государственный радиотелеграфный завод, Центральная радиолaborатория в Ленинграде, Л. И. Мандельштам, С. Э. Хайкин, С. И. Вавилов.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Ермолов П. П. Космополитизм С. М. Рытова в некрологе, посвященном академику Папалекси // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 4. С. 508—514.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Ермолов, П. П. Космополитизм С. М. Рытова в некрологе, посвященном академику Папалекси / П. П. Ермолов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 4. — С. 508—514.

Cosmopolitanism of S. M. Rytov in the obituary dedicated to academician Papaleksi

P. P. Yermolov

Sevastopol State University
33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
PPYermolov@sevsu.ru

Received: November 30, 2020

Peer-reviewed: December 5, 2020

Accepted: December 10, 2020

Abstract: *The article examines the period of the struggle in the USSR against “bourgeois cosmopolitanism” and the publication in 1948 of an obituary dedicated to Academician N.D. Papaleksi. In contrast to this, references are made to contemporary works concerning the legacy of Academician Papaleksi, which emphasize his activities in Russia and the USSR. The existence of the well-established eponym “Papaleksi lamp” is noted.*

Keywords: *Strassburg, Cambridge, Berlin, ROBTiT, Odessa Polytechnic Institute, Odessa State Radiotelegraph Plant, Central Radio Laboratory in Leningrad, L. I. Mandelstam, S. E. Khaikin, S. I. Vavilov.*

For citation (IEEE): P. P. Yermolov, “Cosmopolitanism of S. M. Rytov in the obituary dedicated to academician Papaleksi,” *Infocommunications and Radio Technologies*, 2020, vol. 3, no. 4, pp. 508–514. (In Russ.)

1. Введение

В 2020 г. отмечается 140-летие со дня рождения академика Николая Дмитриевича Папалекси (1880—1947). Наиболее полно биография Папалекси изложена его коллегой профессором С. М. Рытовым (1908—1996) в предисловии («краткой» научной биографии объемом 28(!) страниц) к вышедшему в 1948 г. посмертному академическому изданию трудов Николая Дмитриевича [1]. Все последующие публикации, приурочиваемые, как правило, к юбилейным датам, основываются на названном предисловии. Является интересным тот факт, что за эту биографию Рытов в 1949 г. был обвинен в космополитизме.

В разные периоды понятие «космополитизм»¹ имело различное содержание, определяемое конкретно-историческими условиями.

¹ Мировоззрение «мирового гражданства», ставящее интересы и ценности всего человечества выше интересов отдельной нации и государства. После крушения надежд на мировую социалистиче-

Кончина академика Папалекси (1947) и посмертное академическое издание его трудов (1948) как раз совпали с указанным в сноске периодом борьбы с «буржуазным космополитизмом», и автор научной биографии — С. М. Рытов был по этому поводу подвергнут серьезному расследованию («попал под раздачу»).

Тем не менее, с учетом пересмотра в настоящем времени действий, связанных с кампанией 1947—1953 гг., парадоксальность ситуации состоит в том, что действительно, С. М. Рытовым в [1] значительный акцент был сделан на деятельность Папалекси за пределами России: в Страсбурге, Кембридже и Берлине.

В настоящей статье приведены фрагменты документов и воспоминаний, касающихся событий 1948 г., показывающих атмосферу борьбы с «буржуазным космополитизмом» в СССР.

В то же время современные исследователи деятельности Н. Д. Папалекси, уже не связанные «буржуазно-космополитическими табу», тем не менее, делают акцент как раз на его деятельности в России и в СССР, и относят Папалекси к числу тех специалистов, которые сумели организовать, разработать и наладить производство первых русских вакуумных ламп (триодов) [2—7]. В частности, в [2] наиболее детально проанализирована деятельность Папалекси в «Русском обществе беспроволочных телеграфов и телефонов» (РОБТиТ), Одесском политехническом институте, Одесском государственном радиотелеграфном заводе и Центральной радиолаборатории в Ленинграде, а также приведены схемы разработанных Папалекси радиоустройств и полученные на них отечественные патенты.

Следует также отметить существование устоявшего эпонима [8] в отечественной научной и технической литературе: «лампа Папалекси».

2. Публикация 2012 года

Для раскрытия темы статьи будем основываться на вышедшем в 2012 г. сборнике, посвященном С. М. Рытову, автору названной выше научной биографии Папалекси [9].

Вот что писал об этом С. М. Рытов в 1994 г., спустя 45 лет после событий 1949 г.

В предвоенные годы ярлык «космополит» обозначал тех, кто не отстаивает повальный русский приоритет в науке и технике и не достаточно часто цитирует оте-

скую революцию и перехода к построению социализма в СССР лозунг пролетарского интернационализма был дополнен принципом пролетарского социалистического патриотизма. В 1947—1953 гг. в СССР прошла политическая кампания по борьбе с «буржуазным космополитизмом», который был объявлен «обслуживающим интересы государств, добывающихся установления мирового господства».

честенные научные работы и их авторов. После войны этот ярлык был усилен до «безродного космополитизма» и служил для того, чтобы открыто не называть преследуемую национальность. «Стыдная болезнь» требовала маскировки, и тогдашний «диамаг» щедро расточал для этого свои «чисто философские» услуги в заданном направлении, насколько не стесняясь проявлять свое невежество в критикующей «идеалистической» науке. Таким образом, «марксистская философия» взяла на себя роль идеологической «крыши» для антисемитской кампании.

В 1948 г. к ФИАНу (в наст. время — Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН — *авт.*) был приставлен от МГБ (Министерство государственной безопасности СССР — *авт.*) в качестве не то куратора, не то комиссара генерал Федор Павлович Малышев. Он не был «генералом в штатском», а ходил в полной форме, включая сине-красную фуражку. Рука об руку с партбюро² института он сразу же приступил к выполнению своей основной задачи — преследованию сотрудников «некоренной» национальности, или «безродных космополитов». Поскольку антисемитизм нельзя было провозгласить открыто, приходилось маскироваться и изворачиваться, что и делалось с большой изобретательностью. Одним из прикрытий в борьбе с «засоренностью кадров» был поход за идеологическую чистоту в науке, в том числе в физике, т. е. основная линия проводилась под философской «крышей». Объектом наступления была избрана школа покойного Л. И. Мандельштама или, точнее, «безродные» его ученики, протаскивающие идеализм, как в собственных писаниях, так и в издаваемых ими лекциях Мандельштама. Начались идеологические «проработки» на общих собраниях сотрудников института.

Конкретным материалом для обвинений в идеалистических «измах» послужили: 1) книжка С. Э. Хайкина «Что такое силы инерции» (1940) и его же замечательный учебник «Механика» (1947), в которых он опирался на идеи Мандельштама; 2) двухтомный «Курс физики» под редакцией Н. Д. Папалекси (1947 и 1948 г.), во втором томе которого была написана мною глава «Оптика движущихся тел и специальная теория относительности»; 3) пятый том «Полного собрания трудов» Л. И. Мандельштама, содержащий, в частности, его лекции 1933—1934 гг. по специальной теории относительности (в моей обработке).

24 мая 1949 г. состоялось заседание ученого совета ФИАН, в повестке дня которого стоял пункт «О космополитических ошибках, допущенных сотрудниками ФИАН». Материалы, касающиеся этого заседания, представлены в [9] на основе ахивных источников: стенограммы протокола заседания Ученого совета ФИАН от 24 мая 1949 г.³ и постановления ученого совета ФИАН «По вопросу об идеалистических и космополитических ошибках отдельных сотрудников института».⁴

На заседании со вступительным словом выступил директор ФИАН С. И. Вавилов. Он назвал «три основных греха», против которых было направлено движение, осуждающее космополитизм:

² Партийное бюро (руководящий выборный орган первичной организации Коммунистической партии Советского Союза).

³ Архив РАН. Ф. 532. Оп. 1. Д. 164. С. 33—61.

⁴ Архив РАН. Ф. 532. Оп. 1. Д. 164. С. 62—63.

1. некоторый отрыв теоретической работы от практических вопросов;
2. идеалистические ошибки;
3. космополитизм.

Вот эти три ошибки у нас были, и особенно проявилось это в ряде случаев, в результате разбора отдельных книг, научных работ наших сотрудников, которых мы очень ценим по их конкретным научным достижениям. Я назову эти имена потому, что о них, вероятно, речь будет в дальнейшем. Речь идет о С. Э. Хайкине, С. М. Рытове, Я. Л. Альперте и В. Л. Гинзбурге. Кроме того, большие ошибки были найдены в выступлении М. А. Маркова.

Вот что сказал на заседании этого совета С. И. Вавилов об ошибках С. М. Рытова.

«...среди лиц, работы которых подвергались внимательному критическому рассмотрению, называлось имя Сергея Михайловича Рытова. Это опять видный крупный ученый, но вот, в его печатных работах, в его высказываниях, к сожалению, проскользнули явно беспартийные следы космополитического отношения к науке, и, что особенно печально, они проскользнули в таком документе, как биография покойного академика Н. Д. Папалекси. Это — крупнейший советский ученый, и в его биографии нужно было в особенности подчеркнуть его заслуги перед советской страной. А, вместе с тем, в статье Сергея Михайловича Николай Дмитриевич показан как человек, свое основное воспитание получивший в чуждых нам немецких условиях, привезший с собой чуждую немецкую психологию немецкого ученого на родину, человек, заслуги которого оцениваются именно с точки зрения такой национальной науки. Получилось, несомненно, искажение образа Николая Дмитриевича Папалекси. Все, кто знал Николая Дмитриевича, знали, что это человек, вернувшийся в Россию еще в 1914 году, когда началось нападение немцев на нашу родину в Первую мировую войну, приложил все свои силы на пользу родине и сделал чрезвычайно много в области практической. Надо сказать, что первая радиолампа была лично изготовлена Николаем Дмитриевичем, и все помнят, как он работал во время войны в Казани; он до конца войны был настоящим, хорошим патриотом, может быть, не звонившим об этом со всех колоколен, но в советской практической работе это показавший. Но в статье Сергея Михайловича Рытова показано иное, за что мы должны признать за ним несомненный и достаточно ярко выраженный космополитизм.

В работе совета в качестве приглашенного (или «засланного») принимал участие также А. П. Комар⁵, выступление которого по отношению к С. М. Рытову было более резким:

Начнем с обвинения в апатичности. Это особенно ярко проявляется в некрологе, посвященном памяти академика Николая Дмитриевича Папалекси. В этом некрологе Сергей Михайлович ничего не говорит о том, как академик Папалекси отнесся к Октябрьской революции, как Николай Дмитриевич относился к тем мероприятиям советской власти для развития науки, которые он сам проводил в жизнь в значительной мере. Об этом вообще ни слова. Но зато мы узнаем о том, как хорошо было работать Николаю Дмитриевичу у Брауна в Страсбургском университете, какая там была хорошая атмосфера, какие хорошие люди, какая коллективная работа делалась в нем! Дальше мы узнаем, с каким громадным чувством долга внедрял

⁵ Антоон Пантелеймонович Комар (1904—1985) — советский физик, профессор, академик Академии наук УССР (1948).

свои работы в немецкую промышленность академик Папалекси. Это совсем нехорошо. Затем мы узнаем, что в 1935—1938 гг. в Советском Союзе академику Папалекси было очень трудно работать из-за организационных перестроек в Центральной радиолaborатории и недооценки его исследования. Я думаю, что, может быть, в отдельные моменты, конечно, трения и были или некоторая недооценка отдельных его тем имела, но писать об этом в некрологе бессмысленно, потому что это не характеризует человека как такового, не характеризует его школу и деятельность.

Эта аполитичность привела к тому, что появились и другие грехи, в частности, этот самый объективизм мелко-буржуазный обывательский, именно в силу того, что подчеркиваются третестепенные факты из жизни Николая Дмитриевича, совершенно не характеризующие его как человека. Подчеркивается то обстоятельство, бросающее тень на Н. Д. Папалекси как на советского ученого, что в Страсбургском университете была хорошая атмосфера, что фирма «Телефункен» предоставляла возможности для поездок и свиданий Н. Д. с высокопоставленными иностранцами; подчеркивается то обстоятельство, что, по предложению Ван-дер-Поля, Н. Д. систематически составлял сводки о состоянии радиофизики в Советском Союзе, затем без конца говорится о его поездках, и как его там хорошо встречали. Это совсем ни к чему. Или говорится о том, что покойник любил читать детективные романы. А, может быть, он любил кормить собак сахаром? Об этом не стоит говорить, ибо это не характеризует его как ученого.

Затем, чрезвычайно неприятно то, что в этом же некрологе чрезвычайно ярко вылилось и преклонение С. М. Рытова перед достижениями иностранной науки и как раз в чрезвычайно нехорошей манере. В этом некрологе, который занимает несколько страниц, без конца повторяются фразы: «...заслужили признание за границей...», «...их значение за границей в должной мере оценено...», «...на уровне того, что оценено за границей...», «...мировая наука...» и т. д., и т. д. И тут же С. М. пишет, что мировой центр по радиофизике находился в Советском Союзе, что учение русских ученых в этой области имеет громадное значение. То есть, явно это надо было писать с других позиций.

3. Заключение

Приведенные в статье фрагменты протоколов периода борьбы с «буржуазным космополитизмом» иллюстрируют морально-политическую атмосферу в СССР в середине прошлого века.

Всеобщее отрицание политики борьбы с «буржуазным космополитизмом», характерное для конца прошлого века, изменяется в настоящее время на более взвешенный анализ с акцентом на отечественные аспекты, который проявляется в работах современных историков науки и техники [2—7, 10].

Список литературы

1. Рытов С. М. Николай Дмитриевич Папалекси (краткая научная биография). В кн. : Папалекси Николай Дмитриевич. Собрание трудов. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1948. С. 9—36.

2. Пестриков В. М. Научные исследования Н. Д. Папалекси в области радиотехники в начале XX века. В сб. : Материалы V Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий», посвященной 140-летию со дня рождения выдающегося физика и создателя первой русской усилительной радиолампы Н. Д. Папалекси. 24—26 ноября 2020 г. В 2 ч. Ч. 1. СПб. : СПбГИКиТ, 2021. С. 10—28.
3. Пестриков В. М. Некоторые научные исследования в области радиоламп в России до октября 1917 года. Сборник трудов 65-й научно-технической конференции СПбНТОРЭС им. А. С. Попова. Апрель 2010 г. Санкт-Петербург. С. 369—370.
4. Пестриков В. М. Русские радиолампы : первые конструкции и научные исследования // Радиолюбби. 2010. № 4. С. 2—4.
5. Пестриков В. М. Русские радиолампы : первые конструкции и научные исследования (окончание) // Радиолюбби. 2010. № 5. С. 2—5.
6. Пестриков В. М. «Бутылочные» триоды Папалекси // Радиолюбби. 2012. № 6. С. 2—4.
7. Пестриков В. М. Одесские лампы Папалекси // Telecommunication Sciences. 2011. Т. 2, №. 2. С. 68—70.
8. Ермолов П. П. Эпонимы в терминологии инфокоммуникаций и радиотехнологий // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2018. Т. 1, № 1. С. 121—135.
9. Сергей Михайлович Рытов : жизнь, воспоминания, интервью, записки, стихи, документы / Сост. В. М. Березанская, Н. С. Рытова; под ред. А. А. Гиппиуса ; вступ. ст. В. Г. Полевого, А. Б. Шмелева. М. : ЛЕНАНД, 2012. 552 с.
10. Борисова Н. А. Россия — родина слонов или «кулибиных»? Из истории электросвязи 1830-х — 1930-х гг. : монография. СПб. : ЦМС имени А. С. Попова, 2017. 344 с.

Информация об авторе

Ермолов Павел Петрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий базовой кафедрой «Инновационная радиоэлектроника» Института радиоэлектроники и информационной безопасности Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация. ORCID 0000-0001-9089-974X.

Information about the author

Pavel P. Yermolov, CSc, Associate Professor, Head of the Basic Department “Innovative Radio Electronics” of the Institute of Radio Electronics and Information Security, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation. ORCID 0000-0001-9089-974X.