

Севастопольский государственный университет

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Infocommunications
and Radio Technologies

2021
Том 4
№ 2

2021
Vol. 4
No. 2

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 17.12.2021

Формат 64×90/16. Усл. печ. л. 4,43. Уч.-изд. л. 5,2. 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-njrt>

Содержание — Contents

Электроника, фотоника, приборостроение и связь (2.2) — Electronics, photonics, instrumentation and communications

- М. А. Stepovich, V. V. Kalmanovich, and M. N. Filippov**, On some problems of modeling the processes of interaction of wide electron beams with planar microwave structures based on gallium nitride
- Степович М. А., Калманович В. В., Филиппов М. Н.** О некоторых проблемах моделирования процессов взаимодействия широких электронных пучков с планарными микроволновыми структурами на основе нитрида галлия85
- Карушкин Н. Ф., Обухов И. А.** Источники субмиллиметрового излучения на кремниевых лавинно-пролетных диодах
- N. F. Karushkin and I. A. Obukhov**, Sources of submillimeter waves based on silicon IMPATT diodes 95

История науки и техники (5.6.6) — History of science and technology

- Пестриков В. М.** Продвижение Ли де Форестом инноваций беспроводного телефона на рынке услуг
- V. M. Pestrikov**, Lee de Forest's promotion of wireless phone innovation in the service market 107
- Пузанков Л. А.** Радилюбительское движение в Севастополе (исторический аспект)
- L. A. Puzankov**, History of amateur radio in Sevastopol 147

On some problems of modeling the processes of interaction of wide electron beams with planar microwave structures based on gallium nitride

M. A. Stepovich¹, V. V. Kalmanovich¹, and M. N. Filippov²

¹*Department of Physics and Mathematics, Tsiolkovsky Kaluga State University
Kaluga, 248023, Russian Federation*

m.stepovich@rambler.ru, v572264@yandex.ru

²*Chemical Analysis Laboratory,
Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry RAS
Moscow, 119071, Russian Federation
fil@igic.ras.ru*

Received: May 19, 2021

Peer-reviewed: September 16, 2021

Accepted: September 16, 2021

Abstract: The problem of mathematical modeling of the diffusion of nonequilibrium minority charge carriers generated by kilovolt electrons in semiconductor targets is considered. Models are considered that make it possible to perform calculations in homogeneous targets and multilayer planar semiconductor structures. In carrying out the calculations, the matrix method was used, which makes it possible to solve the differential equations of heat and mass transfer in multilayer planar structures with an arbitrary number of layers. Some results of mathematical modeling of the processes of interaction of wide electron beams with planar structures for GaN and substrate materials (SiC and Si) are presented.

Keywords: mathematical modeling, semiconductors, wide electron beam, minority charge carrier, diffusion.

For citation (IEEE): M. A. Stepovich, V. V. Kalmanovich, and M. N. Filippov, “On some problems of modeling the processes of interaction of wide electron beams with planar microwave structures based on gallium nitride”, *Infocommunications and Radio Technologies*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 85–94.

УДК 621.396.67(075.8) + 621.397.6(075.8)

О некоторых проблемах моделирования процессов взаимодействия широких электронных пучков с планарными микроволновыми структурами на основе нитрида галлия

¹ Степович М. А., ¹ Калманович В. В., ² Филиппов М. Н.

¹ Физико-математический факультет,
Калужский государственный университет им. Циолковского
Калуга, 248023, Российская Федерация
m.stepovich@rambler.ru, v572264@yandex.ru

² Лаборатория химического анализа,
Институт общей и неорганической химии им. Курнакова РАН
Москва, 119071, Российская Федерация
fil@igic.ras.ru

Получено: 19 мая 2021 г.

Отрецензировано: 16 сентября 2021 г.

Принято к публикации: 16 сентября 2021 г.

Аннотация: Рассмотрена проблема математического моделирования диффузии неравновесных неосновных носителей заряда, генерируемых киловольтными электронами, в полупроводниковых мишенях. Рассмотрены модели, позволяющие проводить расчеты в однородных мишенях и многослойных планарных полупроводниковых структурах. При проведении расчетов использовался матричный метод, позволяющий решать дифференциальные уравнения тепломассопереноса в многослойных планарных структурах с произвольным числом слоев. Приведены некоторые результаты математического моделирования процессов взаимодействия широких электронных пучков с планарными структурами для GaN и материалов подложки (SiC и Si).

Ключевые слова: математическое моделирование, полупроводники, широкий электронный пучок, неосновные носители заряда, диффузия.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Степович М. А., Калманович В. В., Филиппов М. Н. О некоторых проблемах моделирования процессов взаимодействия широких электронных пучков с планарными микроволновыми структурами на основе нитрида галлия // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2021. Т. 4, № 2. С. 85—94.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Степович, М. А. О некоторых проблемах моделирования процессов взаимодействия широких электронных пучков с планарными микроволновыми структурами на основе нитрида галлия / М. А. Степович, В. В. Калманович, М. Н. Филиппов // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2021. — Т. 4, № 2. — С. 17—94.

1. Introduction

Gallium, indium and aluminum nitrides are promising materials for micro-, opto- and microwave electronics [1, 2]. The properties of these materials [3] are such that semiconductor devices based on them can operate at high voltages, temperatures and in adverse environmental conditions, for example, under radiation exposure – in nuclear reactors or in space. Because of this, the problem of studying the process of heat and mass transfer in these semiconductor materials and structures based on them is of interest both from a theoretical point of view of describing physical processes and from a practical point of view of technology for creating, improving and using semiconductor devices.

One of the few methods that allow non-contact non-destructive diagnostics of such objects are electron probe methods based on the use of beams of kilovolt electrons. Registration of informative signals excited in the target and comparison of experimental data with the mathematical model of the phenomenon under study allow us to identify target parameters that are very difficult or even impossible to determine using other methods [4, 5].

This paper discusses some of the problems of modeling the processes of interaction of wide electron beams with homogeneous materials and planar microwave structures based on gallium nitride.

2. Homogeneous materials

2.1. Collective diffusion model

In this case, the differential equation for the diffusion of nonequilibrium minority charge carriers (MCCs) generated by a wide electron beam in a semi-infinite homogeneous semiconductor target has the classical form [6, 7]:

$$D \frac{d^2 \Delta p(z)}{dz^2} - \frac{\Delta p(z)}{\tau} = -\rho(z) \quad (1)$$

with boundary conditions

$$D \left. \frac{d\Delta p(z)}{dz} \right|_{z=0} = \nu_s \Delta p(0), \Delta p(\infty) = 0. \quad (2)$$

Here D , L , τ are electrophysical parameters: diffusion coefficient, diffusion length and lifetime of the MCC, respectively, while $L = \sqrt{D\tau}$, and ν_s is the rate of surface recombination of the MCC. The function $\Delta p(z)$ describes the depth distribution of non-equilibrium MCCs generated by an external energy impact

after their diffusion in the semiconductor. Function $\rho(z)$ is the dependence on the coordinate of the density of MCCs generated by an electron beam in a semiconductor target prior to their diffusion. The solution to problem (1), (2) is given in [6, 7] For a wide electron beam $\rho(z)$ can be found from the expression for the energy density of the electron beam released in the target per unit time before the start of the diffusion process [8].

2.2. Independent sources model

The diffusion of MCCs generated in a semiconductor target by an electron beam is modeled using the model, according to which the diffusion of nonequilibrium MCCs generated by an electron beam from any microvolume of the semiconductor is not affected by other electrons or holes from other microregions of the material. In this case, for one-dimensional diffusion in a semi-infinite semiconductor, the depth distribution of excess MCCs is given by the expression

$$\Delta p(z) = \int_0^{\infty} \Delta p(z, z_0) dz_0.$$

The function $\Delta p(z, z_0)$ describes the distribution over the depth of the MCCs generated by a plane infinitely thin source located at a depth z_0 , $z_0 \in [0, \infty)$; z is the coordinate measured from the flat surface into the interior of the semiconductor.

The distribution $\Delta p(z, z_0)$ is found as a solution to the differential equation

$$D \frac{d^2 \Delta p(z, z_0)}{dz^2} - \frac{\Delta p(z, z_0)}{\tau} = -\rho(z) \delta(z - z_0) \quad (3)$$

with boundary conditions

$$D \left. \frac{d\Delta p(z, z_0)}{dz} \right|_{z=0} = \nu_s \Delta p(0, z_0), \Delta p(\infty, z_0) = 0. \quad (4)$$

From the solution (3), (4) we find the required distribution of MCCs after their diffusion.

Note that model (3), (4), in principle, allows modeling layered structures with different material parameters in each layer.

3. Inhomogeneous materials

3.1. Model for a semi-infinite multilayer planar semiconductor structure based on the model of independent sources

Initially, to solve this problem for a multilayer semiconductor structure, standard methods of mathematical analysis were used. Using these methods (see

(3), (4)), we have obtained a solution only for two-layer and three-layer structures [9, 10]. An attempt to obtain an analytical solution for an arbitrary number of layers of a multilayer structure was unsuccessful. This problem was solved using the matrix method (see below).

3.2. Model of diffusion of non-equilibrium minority charge carriers generated by wide electron beam in a multilayer semiconductor target with final thickness

In the case of one-dimensional diffusion into the final semiconductor along the OZ axis, perpendicular to the surface of the n-layer semiconductor structure ($z \in [0, l]$), the depth distribution of the MCC is found as a solution to the differential equation:

$$D^{(i)}(z) \frac{d^2 \Delta p^{(i)}(z)}{dz^2} - \frac{\Delta p^{(i)}(z)}{\tau^{(i)}(z)} = -\rho^{(i)}(z), \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

with boundary conditions

$$\begin{aligned} D^{(1)} \left. \frac{d\Delta p^{(1)}(z)}{dz} \right|_{z=0} &= \nu_s^{(1)} \Delta p^{(1)}(0), \\ D^{(n)} \left. \frac{d\Delta p^{(n)}(z)}{dz} \right|_{z=l} &= -\nu_s^{(n)} \Delta p^{(n)}(l). \end{aligned} \quad (6)$$

The superscript in parentheses indicates the layer number. For a multilayer structure, we denote: $z_1 = 0$, $z_{n+1} = l$ - the outer boundaries of the semiconductor, $z_2, z_3, \dots, z_n$ - the coordinates of the interfaces of the layers; $D^{(i)}$, $L^{(i)}$, $\tau^{(i)}$ are parameters: diffusion coefficient, diffusion length and lifetime of the MCC in the i-th layer, respectively, while $L^{(i)} = \sqrt{D^{(i)} \tau^{(i)}}$, $i = \overline{1, n}$. At the boundaries of the semiconductor (at $z = 0$ and at $z = l$) the reduced rates of surface recombination $S^{(1)} = L^{(1)} \nu_s^{(1)} / D^{(1)}$, $S^{(n)} = L^{(n)} \nu_s^{(n)} / D^{(n)}$, where $\nu_s^{(1)}$ and $\nu_s^{(n)}$ are the rates of surface recombination of the MCC in the first and n-th layers, respectively. The function $\Delta p^{(i)}(z)$ describes the depth distribution in the i-th layer of non-equilibrium MCCs generated by an external energy impact after their diffusion in the semiconductor. Function $\rho^{(i)}(z)$ is the dependence on the coordinate of the density of MCCs generated by an electron beam in a semiconductor target prior to their diffusion. For a wide electron beam, it can be found from the expression for the energy density of the electron beam released in the target per unit time before the start of the diffusion process [8]. The solution to problem (5), (6) can be obtained by the matrix method [11, 12].

4. Results of mathematical modeling

Some results of mathematical modeling of the processes of interaction of wide electron beams with planar structures for GaN and substrate material SiC and Si are shown in fig. 1 and fig. 2.

Fig. 1 shows the distributions of the MCC $\Delta p(z)$ generated by the electron beam in the semiconductor structure “GaN film-GaN substrate” for various thicknesses and beam electron energies: 5, 10, 15, 20, 25 and 30 keV. The following parameter values were used: for a GaN film $L = 35 \mu\text{m}$, $\tau = 10^{-6} \text{ s}$, $S = 30$, $v_s = 1.05 \cdot 10^9 \mu\text{m/s}$, $D = 1.22 \cdot 10^9 \mu\text{m}^2/\text{s}$; similar values for a GaN substrate are $L = 30 \mu\text{m}$, $\tau = 10^{-5} \text{ s}$, $S = 30$, $v_s = 9 \cdot 10^7 \mu\text{m/s}$ and $D = 9 \cdot 10^7 \text{ mkm}^2/\text{s}$. The layer thicknesses are as follows: a – 0.5 μm thick (0.1 μm GaN film and 0.4 μm GaN substrate); b – 1.9 μm thick (0.1 μm GaN film and 1.8 μm GaN substrate); c – 3.6 μm thick (0.1 μm GaN film and 3.5 μm GaN substrate). The parameters of the film and substrate are selected so as to show the influence of the thickness of the structure and the energy of primary electrons on the MCCs distributions.

The curves shown in fig. 2 illustrate the influence of the electron beam energy and electrophysical parameters of GaN on the results of diffusion of MCCs. At an electron beam energy of 10 keV, almost all of their energy is released in a 0.5 mkm thick target – see figure 1a. An increase in the beam energy for a film of this thickness leads to a decrease in the energy lost in the target (figure 1a) and, as a consequence, to a decrease in the generated MCCs. The smaller value for 10 keV, as compared to the distribution at 20 keV, may be associated with stronger influence of surface MCC recombination. Note that the value of the reduced rate of surface recombination is quite large, and the value corresponds to an almost infinite rate of surface recombination.

Analysis of the parameters of various multilayer planar structures and processes for various electron energies [11, 12] suggests that for films with a relatively small thickness, model (5) can be used with the right-hand side $\rho(z)$, which is characteristic of the substrate material.

Otherwise, the calculations should use the parameters characteristic of the film material.

In such cases, on the right-hand side of equation (5), it is necessary to use one $\rho(z)$ that depends only on the parameters of the substrate or film, and this equation will have the following form:

$$D^{(i)}(z) \frac{d^2 \Delta p^{(i)}(z)}{dz^2} - \frac{\Delta p^{(i)}(z)}{\tau^{(i)}(z)} = -\rho(z), \quad i = \overline{1, n}.$$

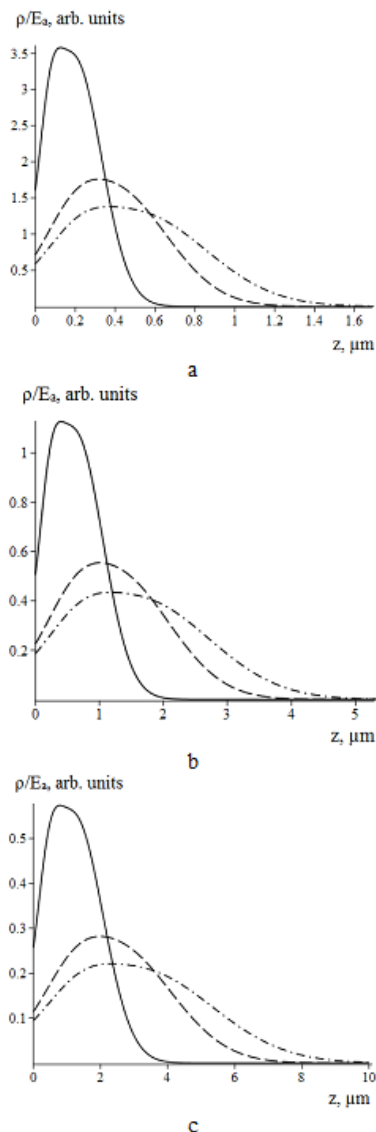


Fig. 1. Normalized to the power E_a , released in targets by an electron beam, energy losses by electrons in single-crystal gallium nitride (solid curves), silicon carbide (dashed lines) and silicon (dash-dotted lines). Energies of the beam electrons: 10 (a), 20 (b) and 30 (c) keV.

Рис. 1. Нормированные на мощность E_a , выделяемую в мишени электронным пучком, потери энергии электронами в монокристаллическом нитриде галлия (сплошные кривые), карбиде кремния (штриховые линии) и кремнии (штрихпунктирные линии). Энергии электронов пучка: 10 (a), 20 (b) и 30 (c) кэВ

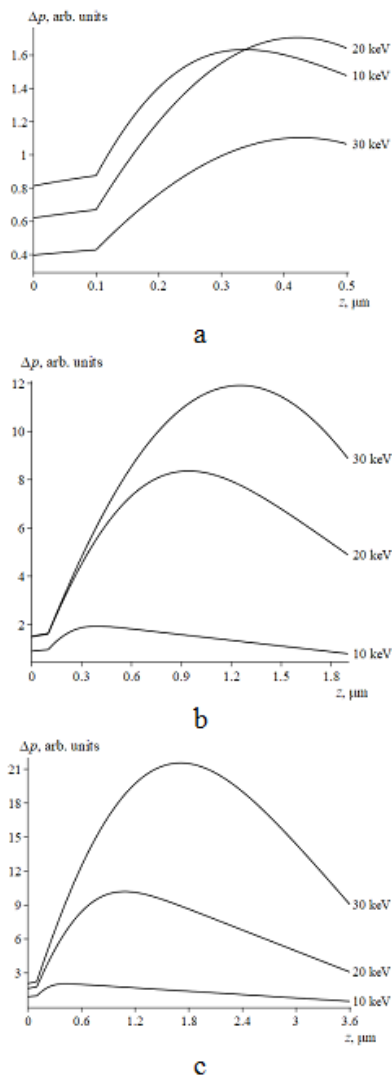


Fig. 2. Depth distributions of MCCs generated by an electron beam in a two-layer semiconductor structure of gallium nitride: a – 0.5 μm thick (0.1 μm GaN film and 0.4 μm GaN substrate); b – 1.9 μm thick (0.1 μm GaN film and 1.8 μm GaN substrate); c – 3.6 μm thick (0.1 μm GaN film and 3.5 μm GaN substrate). Electron energy of the beam: 10, 20, 30 keV.

Рис. 2. Распределение МСС по глубине, генерируемых электронным пучком в двухслойной полупроводниковой структуре из нитрида галлия: а — толщина 0,5 мкм (пленка GaN 0,1 мкм и подложка GaN 0,4 мкм); б — толщина 1,9 мкм (пленка GaN 0,1 мкм и подложка GaN 1,8 мкм); с — толщина 3,6 мкм (пленка GaN 0,1 мкм и подложка GaN 3,5 мкм).

Энергия электронов пучка: 10, 20, 30 кэВ

5. Conclusions

The analysis of the considered models showed that the most acceptable is the matrix method, which allows one to obtain a solution to the problem in an analytical form. In this case, the best results are obtained when using as a substrate material one that has close parameters characterizing the energy dissipation in the film and substrate. In this case, the substrate parameters can be used on the right side of the differential equation.

Acknowledgments

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project no. 19-03-00271, and by the RFBR and the Government of Kaluga Region, project no. 18-41-400001.

References

1. Properties, processing and application of GaN and related semiconductors. J. H. Edgar, ed. London : INSPEC, 1999. 830 p.
2. Nitride (GaN) // Physics. Devices, and Technology. Farid Medjdoub and Krzysztof Iniewski, eds. CRC Press, 2003. Chapter 3. P. 63–109.
3. Group III nitride semiconductor compounds. B. Gil, ed. Oxford : Oxford University Press, 1998. 492 p.
4. Scanning Microscopy for Nanotechnology. Techniques and Applications. W. Zhou and Z. L. Wang, eds. New York : Springer, 2007. 522 p.
5. SEM Microcharacterization of Semiconductors. D. B. Holt and D. C. Joy, eds. London : Academic Press, 1989. 452 p.
6. Wittry D. B., Kyser D. F. Measurements of diffusion lengths in direct-gap semiconductors by electron beam excitation // J. Appl. Phys. 1967. Vol. 38, no. 1. P. 375–382.
7. Everhart T. E., Hoff P. H. Determination of kilovolt electron energy dissipation versus penetration distance in solid materials // J. Appl. Phys. 1971. Vol. 42, no. 13. P. 5837–5846.
8. Mikheev N. N., Stepovich M. A. Distribution of energy losses in interaction of an electron probe with material // Industrial Laboratory. 1996. Vol. 62, no. 4. P. 221–226.
9. Stepovich M. A., Khokhlov A. G., Snopova M. G. Model of independent sources used for calculation of distribution of minority charge carriers generated in two-layer semiconductor by electron beam // Proc. SPIE. 2004. Vol. 5398. P. 159–165.
10. Burylova I. V., Petrov V. I., Snopova M. G., Stepovich M. A. Mathematical simulation of distribution of minority charge carriers, generated in multi-layer semiconducting structure by a wide electron beam // Semiconductors. 2007. Vol. 41, no. 4. P. 444–447.
11. Kalmanovich V. V., Seregina E. V., Stepovich M. A. Mathematical Modeling of Heat and Mass Transfer Phenomena Caused by Interaction between Electron Beams and Planar Semiconductor Multilayers // Bulletin of the Russian Academy of Sciences : Physics. 2020. Vol. 84, no. 7. P. 844–850.
12. Kalmanovich V. V., Seregina E. V., Stepovich M. A. Comparison of analytical and numerical modeling of distributions of nonequilibrium minority charge carriers generated by a wide beam of medium-energy electrons in a two-layer semiconductor structure // Journal of Physics : Conf. Series. Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics : Current Problems. 2020. Vol. 1479, art. no. 012116.

Информация об авторах

Степович Михаил Адольфович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики и математики Калужского государственного университета им. К. Э. Циолковского, Российская Федерация.

Калманович Вероника Валерьевна, старший преподаватель кафедры физики и математики Калужского государственного университета им. К. Э. Циолковского, Российская Федерация.

Филиппов Михаил Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН, Москва, Российская Федерация.

Information about the authors

Mikhail A. Stepovich, Doctor Sci., Professor of the Department of Physics and Mathematics, Kaluga State University n. a. K. E. Tsiolkovsky, Russian Federation.

Veronika V. Kalmanovich, Senior Lecturer of the Department of Physics and Mathematics, Kaluga State University n. a. K. E. Tsiolkovsky, Russian Federation.

Mikhail N. Filippov, Doctor Sci., Professor, Head of the Laboratory, Institute of General and Inorganic Chemistry n. a. N. S. Kurnakov of RAS, Moscow.

УДК 621.315.592

Источники субмиллиметрового излучения на кремниевых лавинно-пролетных диодах

¹ Карушкин Н. Ф., ² Обухов И. А.

¹ Научно-исследовательский институт «Орион»

г. Киев, ул. Э. Потье, 8А, 03680, Украина

nkarushkin001@gmail.com

² Научно-производственное предприятие «Радиотехника»

г. Москва, 115419, 5-й Донской проезд, д. 15, стр. 11, Российская Федерация

iao001@mail.ru

Получено: 1 ноября 2021 г.

Отрецензировано: 10 ноября 2021 г.

Принято к публикации: 10 ноября 2021 г.

Аннотация: Представлены результаты работ по созданию источников электромагнитного излучения в субмиллиметровом диапазоне длин волн с использованием кремниевых лавинно-пролетных диодов. Показано, что минимальные контурные потери и максимальная выходная мощность приборов достигаются при использовании колебательной системы на открытой радиальной линии. Приводятся схемы конструкций источников СВЧ излучения, эквивалентные схемы и их основные параметры в интервале температур от 77 К до 300 К.

Ключевые слова: генератор, субмиллиметровый диапазон, терагерцовый диапазон, кремний, лавинно-пролетный диод, радиальная линия.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Карушкин Н. Ф., Обухов И. А. Источники субмиллиметрового излучения на кремниевых лавинно-пролетных диодах // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2021. Т. 4, № 2. С. 95—106.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Карушкин, Н. Ф. Источники субмиллиметрового излучения на кремниевых лавинно-пролетных диодах / Н. Ф. Карушкин, И. А. Обухов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2021. — Т. 4, № 2. — С. 95—106.

Sources of submillimeter waves based on silicon IMPATT diodes

N. F. Karushkin¹ and I. A. Obukhov²

¹Scientific Research Institute “Orion”

E. Potier, 8 A, Kiev, 03680, Ukraine

nkarushkin001@gmail.com

²Scientific-Industrial Company “Radiotechnika”

5 Donskoi proezd, 15, build. 11, Moscow, 115419, Russian Federation

iao001@mail.ru

Received: November 1, 2021

Peer-reviewed: November 10, 2021

Accepted: November 10, 2021

Abstract: Results of works in the field of submillimeter waves sources creation based on silicon IMPATT diodes are presented. It is shown that minimum contour losses and maximum output power of devices are achieved by using of oscillating system based on an open radial line. Designs of radiation sources, equivalent electrical circuits and their base parameters in the temperature range from 77 K to 300 K are given.

Keywords: generator, submillimeter diapason, terahertz diapason, silicon, IMPATT diode, radial line

For citation (IEEE): N. F. Karushkin et al. “Sources of submillimeter waves based on silicon IMPATT diodes,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 4, no. 2, pp. 95–106, 2021. (In Russ.).

1. Введение

Твердотельные генераторы электромагнитного излучения преобразуют энергию источника питания в энергию высокочастотных колебаний путем нелинейного взаимодействия колебательной системы с активными полупроводниковыми элементами, такими как транзистор, диод Ганна, лавинно-пролетный диод (ЛПД), резонансно-туннельный диод [1].

Колебательная система СВЧ-генератора рассчитывается таким образом, чтобы получить минимальные контурные потери и максимальную выходную мощность от активного элемента [1, 2, 3]. Уменьшение потерь в колебательной системе особенно важно при использовании ЛПД, у которого абсолютная величина отрицательного импеданса мала (1—3 Ом). В коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн решение этой задачи дополнительно осложнено малыми размерами резонатора.

Для уменьшения потерь колебательную систему ЛПД целесообразно реализовывать на открытой радиальной линии. При этом довольно высокий импеданс линии передачи трансформируется в сравнительно низкий импеданс нагрузки радиальной линии. Это основная причина, по которой колебательную систему с радиальным резонатором открытого типа выгодно применять в коротковолновой части миллиметрового диапазона. Очевидно, что полные потери в трансформаторах импедансов должны быть минимальными.

Обеспечение высоких коэффициентов трансформации импедансов диодов при включении их в СВЧ-цепь, особенно в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах волн, является основной особенностью создания колебательных систем источников излучения на ЛПД с максимальными энергетическими характеристиками.

2. Конструкция и эквивалентная схема источника излучения

В известных конструкциях источников излучения миллиметрового диапазона широко применяется включение диода с использованием волноводно-коаксиального сечения (рис. 1а). Схема генератора на ЛПД содержит волноводный канал (1), резонатор радиального типа (2), ЛПД (3), радиальный фильтр (4), поглощающую нагрузку (5), штырь питания (6) и короткозамыкающий поршень (7).

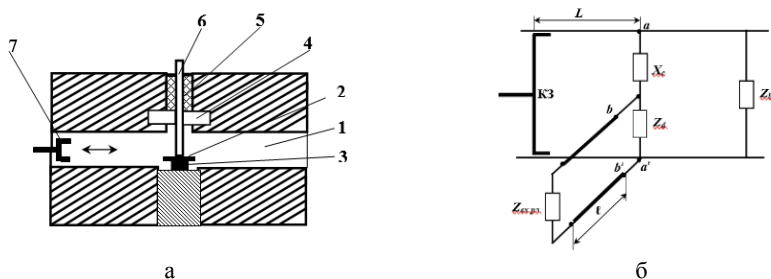


Рис. 1. Схема конструкции генератора на ЛПД с радиальным резонатором (а) и его эквивалентная схема (б).

Fig. 1. Design of IMPATT diode based generator with radial resonator (a) and its equivalent electrical circuit (b)

В связи с тем, что ЛПД обладает отрицательным дифференциальным сопротивлением в широкой полосе частот, в цепи смещения устанавливается фильтр, запирающий колебания с частотами вблизи рабочей частоты f_0 и прозрачный для всех других частот (особенно лежащих ниже f_0). За фильтром устанавливается резисторная нагрузка.

На рис. 1б представлена эквивалентная схема генератора с радиальным резонатором. Нижняя часть резонатора работает как низкоимпедансная радиальная передающая линия. В эквивалентной схеме она представлена обычной передающей линией с включенной последовательно индуктивностью X_c . В центре пространства под крышкой резонатора установлена активная структура ЛПД с импедансом Z_d . Импеданс волновода Z_b относительно плоскости $a - a'$ изменяется при перемещении короткозамкнутого поршня на расстояние L . $Z_{вх,рл}$ — входное сопротивление разомкнутой на конце радиальной линии. Представленная эквивалентная схема не учитывает особенностей распределения электрического поля в месте включения диода, но с достаточной для практики точностью позволяет выполнять инженерные расчеты источников СВЧ мощности на ЛПД.

Радикальным решением задачи построения генераторов на ЛПД с высокими энергетическими характеристиками является создание конструкций корпусных диодов, сохраняющих принцип резонансной трансформации импеданса диодов. Для этого необходимо построить высокочастотные цепи, обеспечивающие согласование импедансов нагрузки и диода в широком диапазоне рабочих частот. При разработке корпуса диода необходимо учитывать полную эквивалентную схему замещения металло-керамического корпуса, в котором керамическая втулка представлена отрезком радиальной линии.

Такое включение диода приводит к эквивалентному увеличению резонансного сопротивления его колебательного контура. Согласование импедансов высокочастотной цепи и диода достигается выбором импеданса радиальной линии $Z_{вх,рл}$, включая импеданс диодной структуры Z_d , и импеданса волновода Z_b , приведенного к клеммам $a - a'$, при которых обеспечивается выполнение условий стационарного режима работы генератора.

В миллиметровом диапазоне, и особенно в его коротковолновой части, целесообразно вместо метало-керамических втулок применять малогабаритные часовые камни рубина [4], имеющие размеры, приведенные в табл. 1, низкий $tg(\delta)$ и диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 9$. Металлизация торцевых поверхностей рубиновых втулок позволяет производить их монтаж методом термокомпрессии.

Известные конструкции диодных источников с использованием волноводно-коаксиального сечения содержат элементы цепи смещения питания (рис. 1а). Эти элементы вносят реактивные сопротивления и усложняют согласование импеданса диода с линией передачи. На рис. 2а представлена конструкция диода, обеспечивающая упрощение согласования импедансов.

Диод (1) содержит полупроводниковую структуру и рубиновую втулку на металлическом основании (2) (теплоотводе). Электрический контакт с крышкой корпуса диода выполнен с помощью ввода питания, состоящего из тонкого металлического штыря (3), который изолирован от основания (2) и расположен от крышки на расстоянии равном $\lambda/8$.

Крышка и основание корпуса образуют радиальный резонатор. Металлический проводник представляет индуктивную нагрузку, и его сопротивление существенно больше волнового сопротивления радиального резонатора.

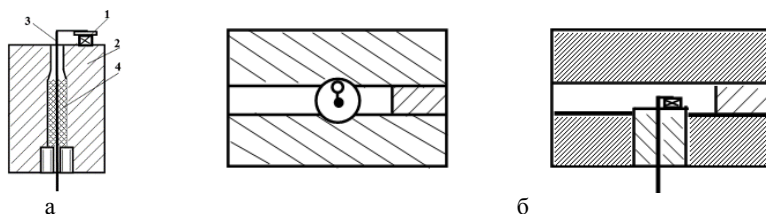


Рис. 2. Конструкция для согласования импеданса ЛПД с линией передачи (а) и волноводная конструкция включения ЛПД в генератор (б).

Fig. 2. Design for IMPATT diode impedance matching with waveguide (a) and of its insert to generator (b)

С целью исключения колебаний в цепи питания диода включен распределенный поглотитель (4). Наличие ввода питания в основании диода позволяет расположить элементы корпуса асимметрично относительно оси его основания, что дает возможность легко согласовывать импеданс диода с импедансом линии передачи в достаточно широком диапазоне частот путем вращения основания с корпусом вокруг своей оси.

Примером использования такого корпуса служит генератор на ЛПД. Металлическое основание с диодом вставляется в отверстие волноводной конструкции перпендикулярно широкой стенке волновода, как показано на рис. 2б. Настройка генератора на заданную частоту производится путем перемещения металлического основания с диодом вдоль его оси, а согласование импеданса диода с нагрузкой — с помощью поворота основания вокруг той же оси.

В области частот 120—180 ГГц (сечение волновода $0,8 \times 1,6$ мм) диаметр основания, содержащего ЛПД, составляет 3 мм. Энергетические и частотные характеристики генератора с использованием предлагаемой конструкции корпуса ЛПД не хуже характеристик генераторов, использующих волноводно-коаксиальный переход ($P_{\text{вых}} \approx 20\text{—}40$ мВт). Такая конструкция корпуса удобнее сопрягается со стабилизирующим резонатором отражательного типа.

Создание источников излучения на корпусированных ЛПД в диапазоне 60—160 ГГц может быть обеспечено применением диэлектрических втулок корпусов на основе промышленных часовых камней рубина с размерами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1.

Table 1

Диапазон, ГГц	Внешний диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм
50—70	0,8	0,5	0,3
70—100	0,5	0,3	0,2—0,15
100—160	0,4	0,2	0,15

Геометрия контактной плющены (сетки) варьируется в зависимости от рабочего диапазона. В области частот 160—400 ГГц для сохранения принципа резонансной трансформации импеданса диода необходимо применение специальных решений, обеспечивающих достижение резонансных частот в этом диапазоне. В частности, можно использовать корпуса с увеличенным диаметром рубиновой втулки, благодаря чему включается параллельное индуктивное сопротивление, увеличивающее собственную частоту корпуса.

3. Электрофизические параметры лавинно-пролетных структур

С целью увеличения уровня выходной СВЧ-мощности источников излучения в коротковолновой части миллиметрового диапазона волн целесообразно применение двухпролетных структур. На рис. 3а и б представлены типичные распределения примесей и электрического поля в таком диоде.

Проведенные исследования показали, что для достижения максимальной выходной СВЧ мощности и КПД значения параметров активных слоев диодной структуры должны быть близкими к значениям, приведенным в табл. 2, где f_p — рабочая частота, N_a, N_d — уровни легирования p и n слоев, l_p, l_n — ширины пролетных p и n слоев. Для зависимости от частоты ширины активных слоев, при которых достигается максимальная выходная мощность и КПД, справедлива формула: l_p, l_n (мкм) $\approx 30 \cdot f_p^{-1}$ (ГГц).

В работах [3, 5] показано, что в коротковолновой части миллиметрового диапазона из-за тепловых ограничений диоды могут работать только в том интервале адмиттансной характеристики, который соответствует большим значениям реактивной и малым значениям активной проводимости, что затрудняет согласование таких диодов с электродинамическими конструкциями генераторов, умножителей и усилителей.

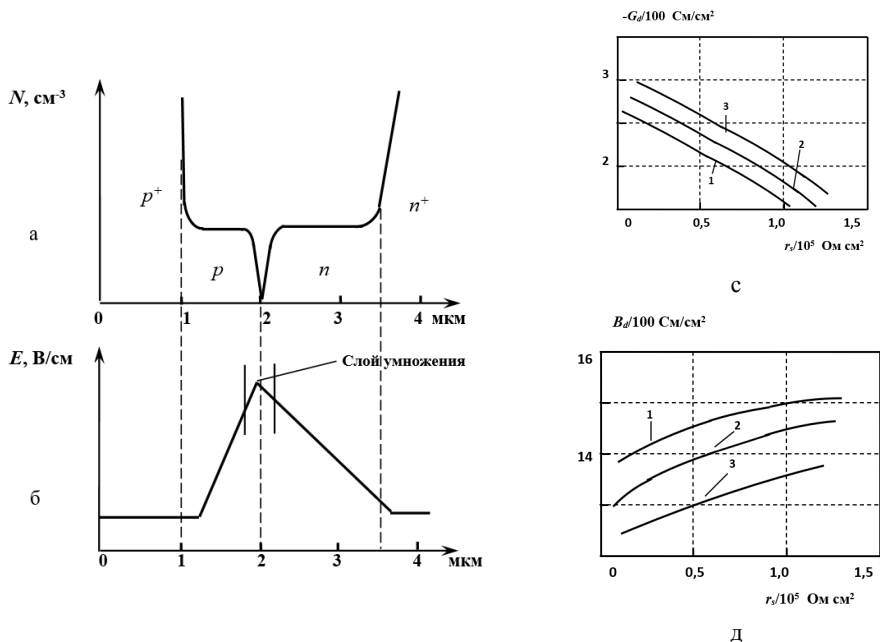


Рис. 3. Распределение примесей (а) и электрического поля (б) в двухпролетном ЛПД и зависимости его активной (в) и реактивной (г) проводимостей от сопротивления r_s на частоте 200 ГГц.

Fig. 3. Impurity (а) and electric field (б) distribution in two-span IMPATT diode and its active (в) and reactive (г) conductivities as a function of resistance r_s at frequency 200 GHz

Быстрый спад выходной мощности с возрастанием частоты связан с уменьшением импеданса диода из-за уменьшения ширины пролетного пространства и, соответственно, с увеличением удельной емкости структуры. Существенное влияние на характеристики диода оказывает величина сопротивления подложки r_s .

Таблица 2.

Table 2

№	$f_p, \text{ГГц}$	$N_a, \text{см}^{-3}$	$N_d, \text{см}^{-3}$	$l_p, \text{мкм}$	$l_n, \text{мкм}$
1	60	$6,0 \cdot 10^{16}$	$6,0 \cdot 10^{16}$	0,5	0,5
2	100	$1,3 \cdot 10^{17}$	$1,3 \cdot 10^{17}$	0,3	0,3
3	150	$2,0 \cdot 10^{17}$	$2,0 \cdot 10^{17}$	0,25	0,25
4	200	$4,0 \cdot 10^{17}$	$4,0 \cdot 10^{17}$	0,15	0,15
5	300	$6,0 \cdot 10^{17}$	$6,0 \cdot 10^{17}$	0,12	0,12
6	400	$8,0 \cdot 10^{17}$	$8,0 \cdot 10^{17}$	0,08-0,1	0,08-0,1

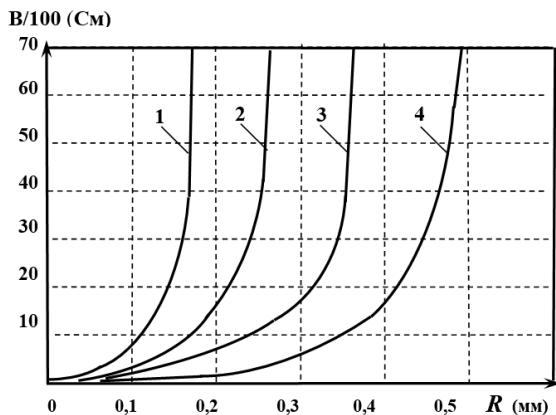


Рис. 4. Зависимости входной реактивной проводимости радиальной линии, подводимой к диоду, от радиуса R при высоте линии $h = 0,15$ мм и различных значениях длины волны: 1 — $\lambda = 0,5$ мм; 2 — $\lambda = 1$ мм; 3 — $\lambda = 1,5$ мм; 4 — $\lambda = 2$ мм.

Fig. 4. Dependence of input reactive conductivity of radial line bringing to diode from radius R when height $h = 0,15$ mm and different wavelengths: 1 — $\lambda = 0,5$ mm; 2 — $\lambda = 1$ mm; 3 — $\lambda = 1,5$ mm; 4 — $\lambda = 2$ mm

На рис. 3с и д представлены зависимости активной G_d и реактивной B_d проводимостей от величины сопротивления r_s для двухпролетной структуры ЛПД на частоте около 200 ГГц при различных значениях плотности тока питания I_0 : 1 — $I_0 = 100$ кА/см², 2 — $I_0 = 120$ кА/см², 3 — $I_0 = 130$ кА/см². Видно, что при значениях r_s , больших, чем 1×10^{-5} Ом×см², отрицательная проводимость диода исчезает.

В коротковолновой части миллиметрового диапазона ($\lambda = 1\text{—}0,5$ мм) создание колебательных систем с использованием диэлектрических втулок затруднено из-за малых габаритов и наличия элементов монтажа полупроводниковой структуры. В этом случае целесообразно вместо втулок применять кварцевые опоры. Величина и характер реактивного сопротивления, приводимого к диодной структуре, определяется диаметром диска, установленного на кварцевой опоре либо непосредственно на мезаструктуре.

В работе [4] показано, что для достижения СВЧ излучения в субмиллиметровом диапазоне ($\lambda \approx 1$ мм) на лавинно-пролетных $p^+-p-n-n^+$ структурах необходимо обеспечить узкий слой умножения и малую величину сопротивления r_s . Формирование таких структур возможно методами молекулярно-лучевой эпитаксии или ионного легирования. Но при применении второго метода возможны радиационные дефекты, негативно влияющие на работу диода.

3. Повышение эффективности работы источников излучения путем охлаждения

Создание полупроводниковых устройств, генерирующих электромагнитные колебания, всегда связано с необходимостью решения задачи об эффективном отводе тепла от активного элемента, поскольку температурный режим определяет его долговечность и энергетические характеристики. Максимальная мощность P , которую способен рассеивать ЛПД определяется выражением:

$$P = (T_{max} - T_0)/R_T,$$

где: T_{max} — максимальная температура p - n перехода; T_0 — температура окружающей среды (теплоотвода); R_T — тепловое сопротивление диода.

Увеличения входной мощности постоянного тока P можно добиться тремя путями: увеличением T_{max} , уменьшением R_T , и охлаждением генератора, т. е. снижением T_0 . Увеличение температуры перехода T_{max} может быть реализовано в широкозонных полупроводниках, таких как фосфид галлия или нитрид галлия. Обычно увеличения входной мощности добиваются за счет уменьшения R_T , которое достигается технологическими методами и применением алмазных теплоотводов, но возможности этого подхода в настоящее время практически исчерпаны. Принудительное охлаждение генераторов до низких температур, позволяет достичь цели не только за счет увеличения разности $T_{max} - T_0$, но и за счет температурной зависимости теплопроводности применяемых материалов. Теплопроводность K_T таких материалов, как кремний, медь и алмаз, при понижении температуры от 300 К до 77 К увеличивается соответственно от 130, 450 и 2000 Вт/мк до 1500, 600 и 11000 Вт/мк.

Однако суммарное уменьшение R_T не будет пропорционально вышерассмотренному возрастанию K_T , так как разогрев диода приводит к уменьшению теплопроводности прилегающих к p - n переходу областей, в которых происходит основное выделение тепла.

Особый интерес представляет изучение возможности повышения мощности излучения и КПД генераторов терагерцового диапазона частот, эффективность работы которых в настоящее время очень низка. В данной работе представлены результаты исследований охлаждаемых генераторов в интервале температур 77—300 К. Конструкция генератора, выполненная на основе волноводно-коаксиального сочленения с волноводным каниалом сечением 0,8×1,6 мм, представлена на рис. 1.

Двухпролетные кремниевые структуры p^+-p - n - n^+ типа с пробивным напряжением $U_{пр} = 12$ —12,8 В монтировались в металлизированные ру-

биновые втулки с внешним диаметром $d = 0,4$ мм. Предпробойная емкость диода в корпусе составила $C_{пр} = 0,3—0,35$ пФ; дифференциальное сопротивление на прямой ветви ВАХ $R_{дф} = 0,6$ Ом; тепловое сопротивление $p-n$ -переход — корпус $R_T \approx 60$ град/Вт при $T = 300$ К. Генератор помещался в сосуд Дьюара с жидким азотом без вакуумизации.

Понижение рабочей температуры окружающей среды привело к изменению вольтамперной характеристики и уменьшению напряжения пробоя $U_{пр}$ диода (см. рис. 5а). Ход зависимости $U_{пр}$ от температуры определяется характером взаимодействия носителей тока с кристаллической решеткой структуры диода. С понижением температуры растет скорость насыщения носителей заряда V_s , что приводит к увеличению их средней кинетической энергии.

Охлаждение генератора позволило увеличить КПД от 0,5 % до 3,5 % при одновременном увеличении тока в два раза (см. рис. 5б). В эксперименте наблюдаются близкие к линейным зависимости уровней выходной мощности СВЧ и КПД от тока питания. Максимальная мощность, которая была достигнута при температуре 77 К, составила 280 мВт при КПД 3,5 %, что на порядок превышает уровни, достигаемые при комнатной температуре.

Охлаждение генератора, выполненного на запредельном волноводе сечением $0,5 \times 0,75$ мм (генерация на второй гармонике с частотой 312 ГГц), до температуры 77 К и увеличение тока питания диода в два раза позволили получить уровень выходной мощности 1,5—2,0 мВт. При комнатной температуре ее уровень не превышал 50 мкВт. Увеличение выходной мощности СВЧ на второй гармонике может быть также достигнуто за счет введения в конструкцию генератора колебательного контура [3], обеспечивающего эффективную положительную обратную связь на второй гармонике.

Изучение влияния охлаждения диодов на частоту СВЧ колебаний позволило выявить некоторые закономерности. При понижении температуры от 300 К до 77 К наблюдается монотонный рост частоты генерации примерно на 10 %. Основной вклад в этот процесс вносят увеличение скорости насыщения носителей заряда V_s и изменение реактивной проводимости диода. Под влиянием этих факторов в режиме заданного тока зона генерации СВЧ мощности сдвигается в область более высоких частот. Охлаждение теплоотвода жидким азотом позволяет увеличить ток питания диода, при этом область генерируемых частот несколько расширяется, а уровень СВЧ мощности в полосе частот возрастает в 5—10 раз.

Отметим, что разработанные ГЛПД сохраняют высокую степень надежности. Генераторы работают с многочисленными циклами охлажде-

ние — нагревание, при этом явлений, связанных с деградацией корпусированных диодов, обнаружено не было. Это свойство в сочетании с температурной стабильностью частоты диода при низких температурах расширяет границы применения ГЛПД в терагерцовом диапазоне частот.

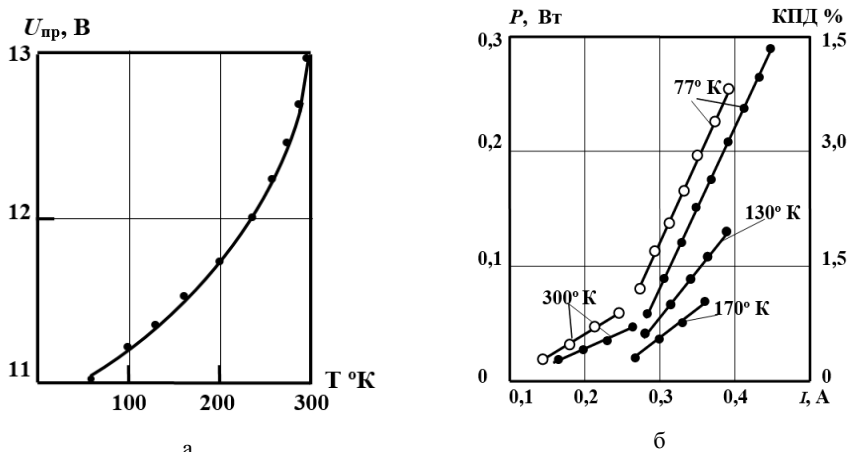


Рис. 5. Зависимости напряжения пробоя $U_{пр}$ от температуры (а), выходной СВЧ мощности P (б, —•—•—) и КПД (б, —○—○—) от тока при различных температурах.

Fig. 5. Dependence of breakdown voltage from temperature (a), input microwave power P (b, —•—•—) and efficiency (b, —○—○—) from current under different temperatures

4. Заключение

Методы создания корпусированных ЛПД на основе резонансной трансформации импеданса полупроводниковой структуры при использовании монтажных элементов корпуса решают задачу согласования импеданса диода и нагрузки в широком частотном диапазоне при минимальных энергетических потерях. Охлаждение генераторов позволяет повысить токи питания. При этом уровень выходной СВЧ мощности возрастает на порядок, а область генерации смещается в область более высоких частот примерно на 10 %.

В области частот 300—400 ГГц также необходимо применять трансформацию импеданса ЛПД. Однако конструктивное исполнение ГЛПД требует использования специальных решений, обеспечивающих достижение резонансных частот в этом диапазоне. Создание лавинно-пролетных структур с оптимальными параметрами целесообразно методами молекулярно-лучевой эпитаксии, позволяющей получать максимально резкие профили легирования.

Список литературы

- 1 Касаткин Л. В., Чайка В. Е. Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн. Севастополь : Вебер, 2006. 319 с.
- 2 Othman M. A., Arshad N. S. M., Hussain M. N. [et. al.] Si IMPATT Diode Optimization for Performance Analysis : an Overview // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. Vol. 9, No. 7. P. 1140—1148.
- 3 Балабанов В. М., Карушкин Н. Ф., Обухов И. А., Смирнова Е. А. Источники СВЧ-мощности на лавинно-пролетных диодах в коротковолновой части миллиметрового диапазона. В сб. : 27-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2017 (Севастополь, 10—16 сент. 2017 г.). 2017. С. 109—117.
- 4 Карушкин Н. Ф., Обухов И. А., Смирнова Е. А. Пат. 2657324(РФ). Применение промышленного часового камня в качестве корпуса полупроводникового устройства миллиметрового диапазона длин волн. Оpubл. в Б. И. 2018. № 17.
- 5 Белоусов Н. П., Гудзь И. А., Новожилов В. В., Чайка В. Е. Исследование характеристик кремниевых ЛПД в коротковолновой части миллиметрового диапазона // Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ. 1979. Вып. 2. С. 55—63.

Информация об авторах

Карушкин Николай Федорович, начальник отдела Научно-исследовательского института «Орион», г. Киев, Украина.

Обухов Илья Андреевич, технический директор Научно-производственного предприятия «Радиотехника», г. Москва, Российская Федерация.

Information about the authors

Nikolai F. Karushkin, head of department, scientific research institute “Orion”, Kiev, Ukraine.

Ilya A. Obukhov, technical director, scientific-industrial company “Radiotechnika”, Moscow, Russian Federation.

УДК 621.37-621.39(091)

Продвижение Ли де Форестом инноваций беспроводного телефона на рынке услуг

Пестриков В. М.

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

Получено: 15 сентября 2021 г.

Отрецензировано: 21 сентября 2021 г.

Принято к публикации: 22 сентября 2021 г.

Аннотация: *Исследована история продвижения американским радиоинженером Ли де Форестом инноваций беспроводного телефона на рынке услуг. Рассмотрена первая публичная демонстрация трехэлектродного аудиона де Фореста в Бруклинском институте искусств и наук в 1907 г. Показано значение конденсатора Мосцицкого в создании мощных передатчиков для дальней беспроводной связи. Подробно описана разработанная де Форестом телефонная дуговая система связи, которая была использована в первых сеансах радиовещания в начале десятих годов XX века в США.*

Ключевые слова: *Ли де Форест, беспроводной телефон, конденсатор Мосцицкого, телефонная дуговая система связи, трехэлектродный аудион, радиовещание.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. Продвижение Ли де Форестом инноваций беспроводного телефона на рынке услуг // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2021. Т. 4, № 2. С. 107—146.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Пестриков, В. М. Продвижение Ли де Форестом инноваций беспроводного телефона на рынке услуг / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2021. — Т. 4, № 2. — С. 107—146.

Lee de Forest's promotion of wireless phone innovation in the service market

V. M. Pestrikov

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

Received: September 15, 2021

Peer-reviewed: September 21, 2021

Accepted: September 22, 2021

Abstract: *The history of the promotion of the wireless telephone innovations on the service market by the American radio engineer Lee de Forest is investigated. The first public demonstration of de Forest's three-electrode audio at the Brooklyn Institute of Arts and Sciences in 1907 is considered. The importance of the Mościcki capacitor in the creation of powerful transmitters for long-distance wireless communication is shown. The telephone arc communication system developed by de Forest is described in detail, which was used in the first broadcasting sessions in the early tens of the 20th century in the United States.*

Keywords: *Lee de Forest, wireless telephone, Mościcki capacitor, telephone arc communication system, three-electrode audion, radio broadcasting.*

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov “Lee de Forest’s promotion of wireless phone innovation in the service market,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 4, no. 2, pp. 107–146, 2021. (In Russ.).

1. Введение

Американский изобретатель Ли де Форест сконцентрировался и направил свой творческий потенциал на разработку чувствительного и стабильного устройства для приема радиоволн. Это ему удалось, и в 1906 г. он изобрел «аудион», первую трехэлектродную усилительную вакуумную лампу. Участвуя в различных махинациях с целью продажи фиктивных акций однодневных беспроводных компаний, де Форест, тем не менее, был изобретателем, наиболее преданным концепции трансляции музыки по радиоволнам, особенно для обычных людей. Несмотря на банкротство его компаний, обвинения в мошенничестве с инвесторами и нарушении чужих патентов, он делал упор на распространение культуры в массы с помощью радиовещания.

В статье [1] исследована история создания аудиона: подробно рассмотрены детекторы пламени, которые стали прообразом двухэлектродных и трехэлектродных аудионов с газом низкого давления, уделено внимание спору между Дж. А. Флемингом и Ли де Форестом о приоритете в изобретении вакуумного диода, показан выбор научного пути в конструировании аудиона с управляющим электродом.

В настоящей статье рассмотрена история продвижения Ли де Форестом инноваций беспроводного телефона на рынке услуг. Рассмотрена первая публичная демонстрация трехэлектродного аудиона в Бруклинском институте искусств и наук в 1907 г. Показано значение конденсатора Мосцицкого в создании мощных передатчиков для дальней беспроводной связи. Подробно описана разработанная де Форестом телефонная дуговая система связи, которая была использована в первых сеансах радиовещания в начале десятилетия XX века в США.

2. Презентация в Бруклинском институте искусств и наук

Первая публичная демонстрация аудиона с управляющей сеткой конструкции Ли де Фореста состоялась в Бруклинском институте искусств и наук ¹ 14 марта 1907 г., рис. 1. Техническое сопровождение презентации новой радиолампы обеспечивал Дж. Хоган. Во время этого мероприятия Ли де Форест выступил с докладом «Беспроводная передача информации» (англ. *The Wireless Transmission of Intelligence*).

В мае того же года Ли де Форест прочитал еще одну лекцию в Бруклинском институте искусств и наук. На этой лекции присутствовал молодой юноша Ллойд Эспеншид ², который большую часть времени проводил в Бруклинском детском музее (*Brooklyn Children's Museum*). Через 66 лет, уже будучи известным радиоинженером, он вспоминал об этом событии [2]: «В этой лекции он представил всем зрителям странную лампочку. Это была первая трехэлементная лампа, которую показывали пуб-

¹ В 1843 году образовался Бруклинский институт после объединения Бруклинской библиотеки (*Brooklyn Museum Library*) и Бруклинского лицея. В 1890 г. в институте появились новые структурные подразделения, относящиеся к изобразительному искусству и естественным наукам. В результате реорганизации института он был переименован в Бруклинский институт искусств и наук (*Brooklyn Institute of Arts and Sciences*). В новом институте занимались серьезными работами научного и исследовательского характера. В нем было множество отделов, и даже первый в мире отдел по изучению электричества. Этот институт является родоначальником нынешнего Бруклинского музея (Бруклин, штат Нью-Йорк).

² Ллойд Эспеншид (*Lloyd Espenschied*, 27.04.1889—01.06.1986) — радиоинженер *Telefunken Wireless Telegraph Company* (1909—1910). Работал в *Bell Telephone Laboratories* (1910—1937), в которой в 1916 г. совместно с Германом Аффелем (*Herman Andrew Affel*) разработал первый современный коаксиальный кабель. Провел остаток своей жизни в доме престарелых в Холмдел (*Holmdel, New Jersey*).

лично, как я узнал позже. Лектор дал лампочку зрителям, и все после ее осмотра сказали: «Ну и что?» Даже де Форест сказал, что не знает, что это такое. Он смотрел на это как на детектор. На самом деле это была эволюция клапана Флеминга, но он никогда об этом не говорил никому».

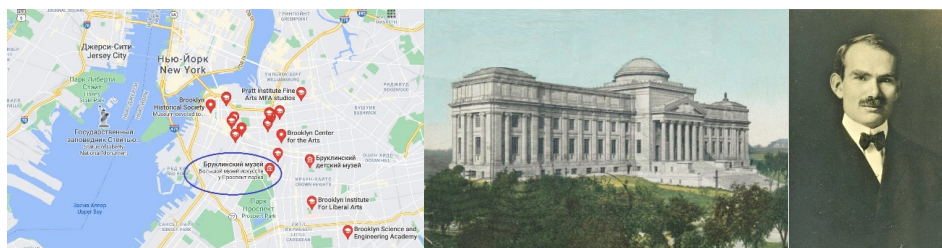


Рис. 1. Место расположения Бруклинского института искусств и науки на карте Нью-Йорка. Бруклинский институт искусств и науки. Ли де Форест (1910 г.)

Fig. 1. Location of the Brooklyn Institute of Arts and Science on the map of New York.
Brooklyn Institute of Arts and Science. Lee de Forest (1910)

Позже в интервью, данном 2 июня 1973 г., Эспеншид высказал мнение о де Форесте, которое разделяли многие в то время [3]: «Нет, он не был инженером. Он всю жизнь был плейбоем. Ему просто повезло, что он наткнулся на трехэлементное устройство. Просто повезло. Но это было ему вручено за настойчивость. Он продолжал это делать, хватая и хватая все заявки на патенты, не зная, что он делает».

В последнем интервью четко проскальзывает зависть Эспеншида и других к успехам Фореста. Это не красит Эспеншида, который работал в то время в инженерном отделе AT&T и знает, как компания приобрела права на аудион у Фореста и благодаря этому совершила научно-технический рывок в радиоэлектронике. Одаренных способностями людей, а таким был Ли де Форест, как правило, на протяжении всей их жизни сопровождает зависть. Зависть к их уникальности и необычности. Талантливые персоны всегда неординарны, они выделяются из общей группы людей своей яркой индивидуальностью. Многим, конечно, удастся держать при себе свою зависть к таланту и обиду на него, не совершая ничего плохого, кроме, конечно, дурных мыслей. Но некоторые завистники этим не ограничиваются и могут причинять неординарным личностям вред, подстраивать разные низкие поступки, всячески мешать им жить и мстить лишь за то, что они такие талантливые и уникальные [4]. Как сказал немецкий физик и физиолог Герман фон Гельмгольц (нем. *Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz*, 31.08.1821—08.09.1894): «По зависти противников можно в известной степени судить о размерах собственного успеха».

3. Разработки компании *De Forest Radio Telephone Company*

В 1907 г. два биржевых дельца из Денвера (*Denver*), владевшие крупными акциями *American De Forest Wireless Telegraph Company*, вывели компанию из бизнеса. Ее активы дельцы продали новой компании, которую они организовали под названием; *United Wireless Telephone Company*. В результате этого де Форест ушел в отставку и забрал с собой все патенты на аудионы.

Де Форест присоединился к Джеймсу Данлопу Смиту (*James Dunlop Smith*), одному из продавцов акций Уайта (*White*), и вместе со своим патентным поверенным Сэмюэлем Э. Дарби (*Samuel E. Darby*) они 6 марта 1907 г. создали новую компанию под названием *De Forest Radio Telephone Company*, рис. 2 [5].

Компания *De Forest Radio Telephone Company* появилась, через три месяца после первой презентации де Форестом своих разработок. В названии этой компании он использовал новый термин — «радио» (англ. *radio*), так как существовавший термин «беспроводная связь» (англ. *wireless*) ему не очень нравился. Новая компания задалась целью развивать беспроводную связь с помощью радиотелефона.



Рис. 2. Бланки акционерных сертификатов: слева — *American De Forest Wireless Telegraph Company* (Мэн). 1906 г. Справа — *The Radio Telephone Company*. 1907 г.

Fig. 2. Stock Certificate Forms: left – *American De Forest Wireless Telegraph Company* (Maine). 1906, to the right — *The Radio Telephone Company*. 1907

Первые инвестиции в компанию осуществил отец Дж. Хогана. Основной задачей новой компании была разработка радиотелефонов с использованием нового аудиона с управляющей сеткой в качестве детектора. Сферой деятельности компании должно было стать все Западное полушарие. Вице-президентом компании стал Ли де Форест. Уставной капитал компании составил \$2 млн. Ли де Форест получил 50 % акций в обмен на поданные им американские и зарубежные патенты на вакуумном триоде, а также за намерения расторгнуть договор с *Stone Telegraph & Telephone Co.*

из-за отсутствия доходов по использованию патентов по схемам Джона Стоуна, которые были приобретены им в это время.

Де Форест понимал, что использование искрового передатчика для надежной связи на большие расстояния является технологическим тупиком, хотя никто этого не осознавал в течение как минимум последующих 10 лет. Маркони не придавал этому большого значения и основал успешную компанию, которая, используя искровой разрядник, создала конкуренцию владельцам трансатлантического кабеля для связи между Лондоном и Нью-Йорком. Де Форест тоже добился успеха с подобной беспроводной искровой системой своей конструкции, но при этом ему пришлось создать, а потом потерять несколько своих компаний. В связи с этим де Форест находился в подавленном состоянии. Он устал от бизнеса искровых сообщений, что в принципе и заставило его к 1906 г. заняться заменой проводного телефона беспроводным.

Реджинальд Фессенден и другие изобретатели также стремились к первенству в разработке подобного устройства, но только де Форест увидел, что беспроводной телефон может быть использован не только для двусторонних голосовых сообщений, но и явиться важным способом для передачи информации и музыкальных передач в дом. Позже из всего этого родится радиовещание. Прежде чем это могло быть полностью реализовано, ему пришлось изобрести нечто совершенно отличное от искрового разрядника и его менее сложных детекторов.

Компания *De Forest Radio Telephone Company*, исходя из выше сказанного, сосредоточила свою деятельность на разработке и продвижении «безыскровых» систем передачи речевых сигналов на основе дуги. В книге мемуаров Форест утверждал, не очень убедительно, что он «...прочитал в каком-то научном журнале в библиотеке, что дуга, окруженная атмосферой водорода, использовалась еще до Паульсена французским физико-химиком П. М. Бертело (*Pierre Eugène Marcellin Berthelot*, 25.10.1827—18.03.1907). Таким образом, как оказалось совершенно очевидным, что я мог получить генерирование незатухающих волн от электрической дуги, без необходимости нарушить какие-либо действительные притязания по патенту Паульсена» [6].

Вскоре, компания разработала телефонную систему радиосвязи, состоящую из дугового передатчика типа *Poulsen* (рис. 3) и радиоприемника с переключением на кристаллический или триодный детектор [7].

Конструкция телефонного дугового передатчика была защищена патентом US1123118, который получил де Форест с приоритетом от 8 июля 1907 г. Нужно отметить, что в телефонном дуговом передатчике в качестве конденсаторов использовались лейденские банки.

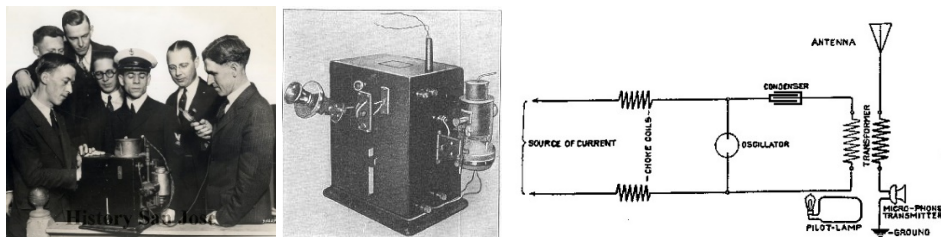


Рис. 3. Сотрудник *De Forest Radio Telephone Company* Фрэнк Э. Батлер (*Frank E. Butler*) проводит демонстрацию телефонного дугового передатчика конструкции Ли де Фореста (1907 г.). Общий вид дугового передатчика и его принципиальная схема (1907 г.)

Fig. 3. *De Forest Radio Telephone Company* employee *Frank E. Butler* demonstrates a telephone arc transmitter designed by *Lee de Forest* (1907). General view of the arc transmitter and its schematic diagram (1907)

4. Электромusикальные радиопередачи

В 1907 г. в разные периоды времени в радиоэфире Нью-Йорка можно было услышать экспериментальные передачи де Фореста, а также ряд пробных радиопередач, организованных операторами судов в гавани Нью-Йорка.

Компания *Cahill Telharmonium* была заинтригована беспроводным телефоном де Фореста и дала разрешение на пробную трансляцию музыки Телгармониумом³ (англ. *Telharmonium* или *Dynamophone*) по радиоволнам, рис. 4 [8]. Руководство Телгармонического зала и де Форест установили антенную мачту на крыше здания Шуберта (*Schubert Building*) на 39-й улице и оборудовали приемную станцию на верхнем этаже отеля «Нормандия» (*Normandie Hotel*) на 38-й улице. Музыка передавалась по беспроводной связи из Телгармоник-холла (*Telharmonic Hall*) Нью-Йоркской электрической музыкальной компанией (*New York Electric Music Company*) и ее можно было услышать по телефону и беспроводному приемнику, установленному в отеле, расположенном в квартале отсюда, а также на Бродвее. По тому же телефону оператор, управлявший телгармоническим аппаратом на 39-й улице, объявлял, какие музыкальные произведения будут передаваться в эфир.

³ Телгармониум считается первым электромusикальным инструментом, созданным американским изобретателем Таддеусом Кэхиллом (*Thaddeus Cahill*, 18.06.1867—12.04.1934) в 1896/1897 гг. В этом устройстве каждый тон представлял собой набор большого количества гармоник, что позволяло получать богатые и выразительные тембры. Основой синтезатора Кэхилла явились «звуковые валы» (*tone wheels*), в конструкции это роторы генераторов переменного тока. Каждый такой ротор состоял из секций с различным количеством полюсов, генерирующих переменный ток соответствующей частоты.

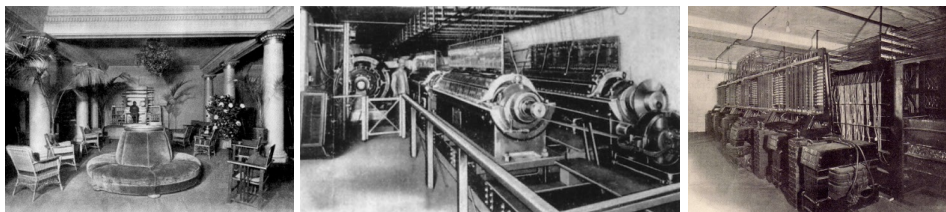


Рис. 4. Телгармоник-холла (1906). Два из роторов MkII Telharmonium, установленных в подвале Telharmonic Hall (1906). Система управления тембром MkII Telharmonium.

Fig. 4. Telharmonic Hall (1906). Two of the MkII Telharmonium rotors installed in the Telharmonic Hall basement (1906). MkII Telharmonium Tone Control System

Несколько человек, собравшихся на 38-й улице, стали свидетелями теста, во время которого они отчетливо слышали разговоры операторов о том, что воспроизводить, когда следует начинать и останавливать музыку и т. д. Эти эксперименты были проведены в пятницу 1 марта 1907 г., и предполагалось, что на них никто не обратит внимание. Эта иллюзия полностью была рассеяна в прошедший вторник 5 марта вечером, когда в Телгармонический зал ворвался мужчина, чтобы пожаловаться на помехи в его беспроводной системе. Посетитель спросил: «Какую вы передаете музыку по радио?». Последовал дипломатический общий ответ. «Так не пойдет», была его реакция. «Вам меня не одурачить. Я — Г. С. Макдональд (*G. S. MacDonald*), главный электрик, отвечающий за беспроводную станцию на Бруклинской военно-морской верфи, и я знаю, что услышал «Вильгельм Телль» (*Wilhelm Tell*) и «Аве Мария» (*Ave Maria*) по моей беспроводной связи, и это не могло исходить ниоткуда — только отсюда». То, что радиотелефон парохода, на котором находился электрик, принял радиопередачу, было случайностью, его аппарат оказался настроен на ту же длину волны, на которой передавала «Нормандия». К тому же, в нескольких милях от моря можно было услышать еще различные мелодии, передававшиеся с других передатчиков.

Электромзыкальные программы, состоявшие в марте 1907 г., после этого, по всей видимости, больше не звучали в эфире. Можно только догадываться, что качество звука оставляло желать лучшего. Де Форест в то время пользовался дуговым передатчиком и пытался улучшить его характеристики, заменив водород водяным паром.

5. Испытания беспроводной телефонной системы *De Forest Radio Telephone Company*

Первые образцы аппаратуры беспроводной телефонной связи были опробованы в практической работе при освещении гонок ежегодной рега-

ты *Inter-Lakes Yachting Association Regatta* в течение недели с 15 по 20 июля 1907 г. из городка Пут-ин-Бей (*Put-in-Bay*) на острове Саут-Басс (*South Bass Island*) озера Эри (*Lake Erie*). 18 июля 1907 г. де Форест провел первый спортивный репортаж с крейсерской яхты⁴ *Thelma*. Яхта была зафрактована у командера (англ. *commander*) У. Р. Хантингтона (*W. R. Huntington*) из Элирии, штат Огайо [9].

De Forest Radio Telephone Company установила систему беспроводного телефона конструкции де Фореста на борту яхты *Thelma*. В ее состав входил 220-вольтовый генератор мощностью 1 киловатт для питания дугового генератора передатчика. В качестве приемного устройства использовался аудион-детектор с входным контуром, который содержал плоскую катушку переменной индуктивности в форме «блина» и конденсатор с парой регулируемых искровых шариков, для настройки на частоту сигнала. Провод антенны был проведен через крышу рулевой рубки к небольшому поперечному рычагу на вершине фок-мачты⁵, а оттуда к такому же рычагу на грот-мачте. Заземление вначале было присоединено к гребному валу со сдвоенными винтами, но этого оказалось недостаточно и для увеличения его площади было добавлено два листа цинка, прикрепленных к корпусу яхты в носовой части [10].

Береговая радиостанция располагалась в помещении *Fox Dock* в Пут-ин-Бей. На берегу был доступен постоянный ток напряжением 110 В, который преобразовывался в 220 В с помощью двигателя-генератора. Схема питания передатчика по рис. 3 была несколько изменена, в нее был добавлен реостат. Ток через реостат и дроссельные катушки подводился к генератору. К этому генератору подключалась шунтирующая цепь, состоящая из конденсатора особой конструкции и первичной катушки, количество витков которой можно было варьировать по желанию для изменения частоты генерируемых электрических волн. Вторая катушка внутри первичной обмотки имела верхний конец, подключенный непосредственно к антенне или антенному проводу, а ее нижний конец сначала проходил через микрофонный капсюль, а затем шел к контакту заземления. Таким образом, изменения сопротивления микрофона, вызванные модуляциями человеческого голоса, напрямую влияли на интенсивность высокочастотных токов, которые непрерывно протекают от антенного провода к заземляющей пластине. Поскольку воздействие на

⁴ Крейсерская яхта — парусные яхты, предназначенные для автономного дальнего плавания, в частности, длительных морских и океанских переходов, а также океанских регат.

⁵ Фок-мачта — первая, считая от носа к корме, мачта на судне с двумя или более мачтами. Если на судне только две мачты, при этом передняя расположена почти в середине судна, то ее называют грот-мачтой.

приемник прямо пропорционально силе принимаемых электрических волн, то очевидно, что каждое изменение сопротивления микрофона голосом воспроизводилось для уха слушателя на удаленной станции виде вибраций диафрагмы телефона.

Яхта *Thelma* следовала за соревнующимися яхтами по маршруту на протяжении большей части гонок, и с ее борта велся соответствующий исчерпывающий репортаж, который просушивался по телефону на береговой станции, рис. 5. Наибольшее расстояние, на котором были слышны и записаны сообщения с яхт, составляло 4 мили (6,4 км), что считалось прекрасным результатом с учетом высоты рангоута *Thelma* и мощности передатчика на ее борту. Репортаж о соревновании яхт принимал сотрудник компании Фрэнк Э. Батлер (*Frank E. Butler*) в *Fox's Dock*.

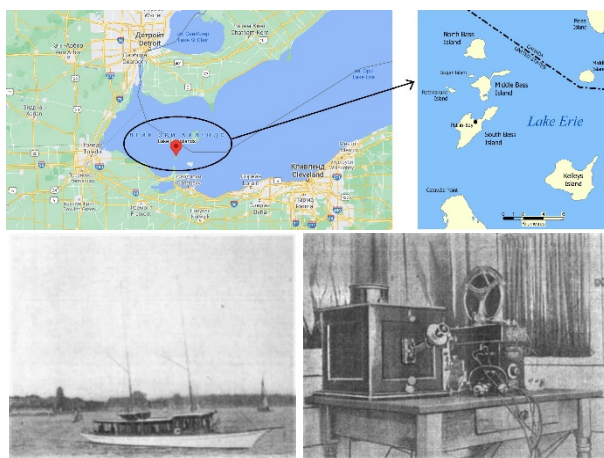


Рис. 5. Карта озера Эри с островами. Общий вид яхты *Thelma* и беспроводная телефонная аппаратура де Фореста, установленная на яхте. Фото 18 июля 1907 г. [10].

Fig. 5. Lake Erie map with islands. General view of the yacht “Thelma” and de Forest’s wireless telephone equipment installed on the yacht. Photo July 18, 1907 [10]

В беспроводной телефонной системе де Фореста использовались микрофон и телефонная трубка точно такие же, как и во всем известном проводном телефоне. Дуговой генератор и аудион-детектор явились единственными новыми составляющими системы связи, в которой эфир заменил соединительный провод.

Примером успешной работы радиотелефона Фореста во время регаты *Put-in Bay* является следующий синопсис отчета об утренних гонках в пятницу, 19 июля. Оператор, отвечающий за береговую станцию, не будучи стенографистом, мог записывать только первые слова разговора или

краткие заголовки отчетов. Это, между прочим, иллюстрирует большое преимущество радиотелефона перед проволочным телеграфом с точки зрения ускорения работы. За заданный промежуток времени может быть передано в 3—4 раза больше слов [9]:

«9:57 ½ утра. Я скажу вам, когда первая лодка пересечет линию. Первая лодка пересекла линии — 9:59. *Clair* пересек черту в 9:59. *Clair* пересек границу примерно через двадцать пять секунд после 9:59. Девять пятьдесят девять и пять секунд — точное время». Затем на *Thelma* зазвучала граммофонная музыка. Позже: «Вторая лодка только что пересекла, 10:07½. Первый в гонке на лодках кэтбот⁶ (*cat boat*) пересек в 10.01½. «*Cleveland*» финишировал вторым, время 10:03½; *Borealis*, 10:04½. *Cleveland* занял второе место. Что я поставлю тебе во второй гонке? *St. Clair* только что пересек, 10:07½ (часто повторяется). Привет, Фрэнк. Мы вернемся примерно через два часа. *Osekita* только что перешел черту; ты произносишь это по буквам, я не могу. Время, 10:08½» и т. д. и т. д., пока гонки не будут закончены, то *Thelma* не отправится обратно в док Пут-ин-Бэй.

На Великих озерах впервые была проведена практическая апробация беспроводной телефонной системы связи⁷. Этот новый вид коммуникации открыл широкие возможности для различных сторон человеческой деятельности, в частности, для нужд торгового флота. По окончании регаты беспроводной телефонный аппарат с *Thelma* и береговой станции Пут-ин-Бей был доставлен в город Толидо⁸, где *De Forest Radio Telephone Company* намеревалась установить его на постоянной основе для поддержания связи с другими беспроводными телефонными аппаратами на судах, плавающих по озеру Эри. Компания де Фореста оценила перспективы нового вида бизнеса и продолжила интенсивно совершенствовать новый вид связи, а также вести поиск заинтересованных в нем потенциальных клиентов.

6. Испытание телефонной дуговой системы связи де Фореста

На регате *Inter-Lakes Yachting Association Regatta* в июле 1907 г. присутствовали сотрудники Американского военно-морского ведомства, которые после внимательного наблюдения за процессом беспроводной передачи информации осознали потенциал передачи голоса как тактиче-

⁶ Кэтбот — это лодка, которая имеет только один косой парус типа «кэт», установленный на самой мачте, которая сильно смещена в нос.

⁷ 23 августа 2013 г. в Пут-ин-Бэй, на пересечении *Bayview Avenue* и *East Bayview Drive* был установлен памятный знак с надписью «Первый радиовещательный репортаж с корабля на берег» (англ. *First Ship-To-Shore Radio Broadcast*).

⁸ Толидо (англ. *Toledo*) — город на западном побережье озера Эри возле устья реки *Мони* (англ. *Maumee*).

ского средства связи. Такой интерес к новой системе радиосвязи был связан с тем, что военно-морские силы США искали приемлемую систему радиосвязи для боевого использования, чтобы оснастить ею группу кораблей флота под названием «Великий Белый флот»⁹ (*U. S. Navy's Great White Fleet*). Корабли, прежде чем отправиться в круиз, должны были оснащены оборудованием для беспроводной связи.

Это морское соединение должно было совершить по приказу президента США Теодора Рузвельта кругосветное плавание в период с 16 декабря 1907 г. по 22 февраля 1909 г. [11]. Главной задачей плавания было продемонстрировать военно-морскую мощь США и обеспечить соблюдение политики «большой дубинки» (*Big Stick*) президента Теодора Рузвельта, рис. 6.

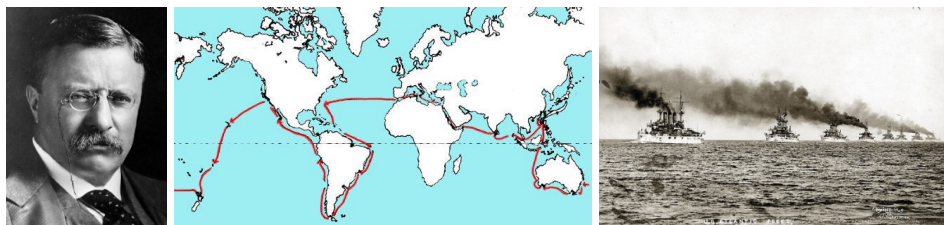


Рис. 6. Президент США Теодор Рузвельт, карта кругосветного плавания «Великого Белого Флота» (*Great White Fleet*) 1907—1909 гг. и отплытие флота из Хэмптон-Роудс, штат Вирджиния (*Hampton Roads, Virginia*) 16 декабря 1907 г.

Fig. 6. US President Theodore Roosevelt, Great White Fleet circumnavigation chart 1907–1909 and the departure of the fleet from Hampton Roads, Virginia (*Hampton Roads, Virginia*), December 16, 1907

Военно-морские силы США стали первыми клиентами *De Forest Radio Telephone Company*. В сентябре 1907 г. военно-морской флот заказал у компании Фореста два комплекта приемо-передающих беспроводных телефонных систем для установки на борту эскадренных броненосцев «Коннектикут» и «Вирджиния», а также проведение их тестовых испытаний с целью оценки возможной дальнейшей закупки этого оборудования, рис. 7. Передающая и приемная аппаратура, по заключенному договору с компанией, могла быть установлена в рулевой рубке или на мостике боевых кораблей и работать во время испытаний совершенно независимо от обычного судового беспроводного телеграфного оборудования. Установка беспроводных телефонов на военные корабли производилась не для замены, а для дополнения беспроводного телеграфирования. Это был интересный эксперимент, имевший большое значение для раскрытия возмож-

⁹ Корпуса кораблей были окрашены в привычный для мирного времени цвет — белый, за что позже они стали известны как «Великий Белый флот».

ностей комбинирования устройствами для передачи информации другим методом, о котором тогда еще почти не подозревали.



Рис. 7. Головные эскадренные броненосцы США, на которых проходили испытания телефонной электродуговой системы связи Фореста (справа) в сентябре 1907 г.: слева — «Коннектикут (BB-18)», в центре — «Вирджиния (BB-13)».

Fig. 7. The lead battleships of the United States, which tested the Forest's electric arc telephone system (right) in September 1907: left – USS “Connecticut (BB-18)”, in the center – USS “Virginia (BB-13)”

Испытания систем радиосвязи проводил капитан-лейтенант¹⁰ Кле-ланд Дэвис (англ. *Lieutenant commander Cleland Davis*), эксперт по беспроводной связи ВМС США. Постоянная радиотелефонная связь поддерживалась между Военно-морской верфью в Вашингтоне и линкором «Вирджиния» на расстоянии 5 миль (8 км), а также с крейсером «Теннесси», который держал связь с Военно-морской верфью на расстоянии 12 миль (12 км). Тестирования передатчика системы радиосвязи де Фореста проводились с обычным аудионным приемником беспроводной телеграфной системы де Фореста. Компания *Radio Telephone Co.* из Нью-Йорка сообщила, что наибольшее расстояние, на которое передавался голос во время этих испытаний, составляло от 20 до 25 миль (от 32 до 40 км).

На линкоре «Коннектикут» во время испытаний поставили фонограф перед микрофоном передатчика и затем проиграли несколько музыкальных произведений. По завершении каждого произведения операторы беспроводной телеграфии на других кораблях, удаленных на много миль, телеграфировали на «Коннектикут» названия музыкальных произведений, которые только что прозвучали в эфире. Как отметила пресса [12]: «Бесполезно комментировать удивительный характер достижений, благодаря которым выдумки рассказчиков в “Тысяче и одной ночи” кажутся правдоподобными, а Жюль Верн становится фактическим свидетелем повседневных достижений. Практические возможности этих таинственных способов передачи голоса и сообщений обещают в ближайшем будущем практическое сокращение остающихся опасностей морских путешествий. Когда челове-

¹⁰ На флоте слово «лейтенант» (в переводе — «заместитель») в двойном звании используется как приставка для обозначения командира определенной группы.

ческие голоса могут проникать в туман во всех направлениях и точно определять местоположение кораблей, и только айсберги и обломки остаются почти единственной угрозой жизни и имуществу в открытом море».

Положительные результаты испытаний радиосистемы связи, позволили военно-морскому ведомству США официально принять аппаратуру компании для эксплуатации на военных кораблях.

Еще одной иллюстрацией успешной работы беспроводного телефонного аппарата стало сообщение, полученное с американского линкора «Коннектикут», который сел на мель при огибании мыса Ламберта (англ. *Lambert's Point*). Линкор «Вирджиния», на котором был установлен беспроводной телефон, находился возле беспроводной телефонной станции на военно-морской верфи Норфолка (англ. *Norfolk Navy Yard*), примерно в 5 милях (8 км) от места, где застрял «Коннектикут». Попытка отправить с Военно-морской верфи беспроводную телеграмму на «Коннектикут» о принимаемых мерах по его спасению, не увенчалась успехом, но ее получила «Вирджиния». Ее оператор, обнаружил, что «Коннектикут» не может принять сообщение, и попробовал позвонить по радиотелефону. Звонок дошел до «Коннектикут» и сообщение было прочитано. Об этом было отмечено соответствующим кодом в телеграмме по беспроводному телеграфу с «Коннектикут» [13].

7. Помощь «ангелов» в маркетинге аудионов

Первые комплекты дуговой системы радиосвязи, установленные на кораблях на Бруклинской военно-морской верфи, еще вызывали у некоторых военных недоверие к ее способности принимать или передавать человеческий голос. Для того чтобы преодолеть скепсис в этом вопросе, де Форест пригласил молодую концертную певицу меццо-сопрано по имени Евгения Фаррар (*Ada Eugenia Hildegard von Boos Farrar*, 1875—1966), рис. 8. Де Форест хотел, чтобы прозвучал именно женский голос. Это позволило бы убедить военно-морские силы в том, что голос исходит не от кого-то, посаженного рядом, а из радиоэфира.

Был осенний полдень, октябрь 1907 года, когда молодая певица в сопровождении журналистки поднялась по скрипучей лестнице на верхний этаж старого 12-этажного Паркер-билдинг (*Parker Building*), стоящего на углу 19-й улицы и Парк-авеню в Нью-Йорке. Замечательным местом она назвала лабораторию Ли де Фореста, как только увидела катушки, генераторы и разбросанные по комнате провода.

Фаррар вспоминает [14]: «В центре всего этого был радиотелефонный передатчик де Фореста, в котором, как мне объяснили, использовался

дуговой генератор с грубой модуляцией. Для меня это было устрашающее устройство, от которого исходили синие искры и едкий запах озона. На столе стоял рожок, похожий на один из ранних фонографов, и мне сказали, что это микрофон, в который я должна буду петь. На самом деле я пришла в лабораторию не для того, чтобы петь. Репортер привела меня посмотреть ее из любопытства. Но когда доктор де Форест узнал, что я певица, он загорелся желанием услышать лирическое меццо-сопрано и попросил меня спеть по его беспроводному телефону».

Она подошла к микрофону с легким довольным смехом и, пока передатчик трещал и гудел, прежде чем начать петь сказала: «Ну, здесь что-то превращается в ничто». Фаррар спела две свои любимые песни Кэрри Бонда (*Carrie Jacobs Bond*) — «Я тебя искренне люблю» (*I Love You Truly*) и «Просто утомительно с тобой» (*Just A Wearying For You*). У нее не было аккомпанемента — только ее собственный идеальный голос.

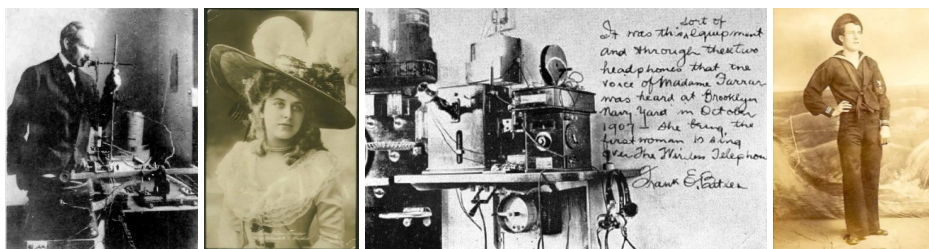


Рис. 8. Ли де Форест в своей лаборатории *Parker Building* (1907 г.). Евгения Фаррар — первая певица, спевшая по беспроводному телефону (12.12.1917). Одна из надписей на фото, сделанная де Форестом гласит: «Мадам Евгении Фаррар, которая была первым человеком, певшим по радио в октябре 1907 года». Радиост Оливер Адамс Вайкофф, первый услышавший пение Е. Феррар.

Fig. 8. Lee de Forest in his *Parker Building* laboratory (1907). The first singer to sing over a wireless phone is Evgenia Farrar (12.12.1917). One of the inscriptions on the photo taken by de Forest reads: "To Mme. Eugenia Farrar who was the first human being to sing over the Radio. October 1907. Oliver Adams Wycoff the radio operator who first heard E. Ferrar singing".

Фрэнк Батлер, ассистент де Фореста, сидел за пультом управления в лаборатории и являлся воплощением первого диктора радио. Только в этот раз он ничего не объявлял. Из здания в центре Манхэттена четкие ноты разлетелись по крышам Нью-Йорка прямо в наушники озадаченного оператора Бруклинской военно-морской верфи, что в семи милях от них. На палубе военного корабля США *Dolphin* (Дельфин) 19-летний радист Оливер Адамс Вайкофф (*Oliver Adams Wycoff*) принимал код Морзе, на мгновение точки и тире прекратились, рис. 8. В этот момент эфир затрещал, затем он услышал пение женщины. Странно, подумал он, женщина поет

на Военно-морской верфи. Он снял наушники с ушей. Пение прекратилось. «Должно быть, идет по воздуху», — подумал он и надел наушники. Он утвердился в этой мысли, но все равно был озадачен услышанным. В то время мало кто действительно верил, что человеческий голос когда-нибудь прозвучит в эфире. «Ангелы», — сказал он себе. «Ангелы поют в воздухе». Он побежал известить дежурного по связи. Когда молодой лейтенант вошел в радиорубку, на его губах появилась улыбка. Он прижал телефон к уху — и улыбка исчезла. «Это невозможно», — выдохнул он. В 1907 г. почти все думали, что это невозможно. Но эти двое представителей военно-морских сил, хотя они и не осознавали этого в то время, но слушали первую настоящую живую развлекательную передачу в истории радио. Этот «ангел, поющий в воздухе» был предшественником миллионов часов программ, транслируемых по всему миру каждый год. Позже лейтенант позвонил в *New York Herald* и сообщил, что столкнулся с удивительным явлением. На следующее утро *Herald* опубликовала короткую заметку об ангелах, поющих в воздухе. Доктор де Форест прочитал ее по дороге в лабораторию и позвонил в *Herald*, чтобы все объяснить. Однако статью в *New York Herald* с обзором трансляции найти не удалось, что вызывает сомнения в ее существовании [15]. Более того, в своей автобиографии де Форест не упоминает, что видел статью в *Herald*, сообщающую о трансляции, хотя в предыдущем абзаце книги он процитировал статью *September Herald*, в которой сообщается об установке радиоаппаратуры на кораблях Великого Белого Флота [16]. По всей видимости, статья в *New York Herald* с обзором трансляции Е. Феррар является исторической выдумкой.

«Нет, — говорила мадам Фаррар, — когда я пела в тот день, я не имела ни малейшего представления о том, что ждет радио впереди. Я также не думаю, что доктор де Форест знал об этом. Сегодня все как-то по-другому, тогда мы думали об этом как о диковинке, интересной новинке без какой-либо определенной пользы...» [17].

Радиоэфир первого живого звука связал Евгению Фаррар с Оливером Вайкоффом мистическими узами до конца ее жизни. Фаррар умерла в 1966 году и с тех пор ее прах перемещался с места на место в старом небольшом металлическом футляре. В соответствии с пожеланием Феррар, ее прах был отправлен Вайкоффу. Он получил картонную коробку с прахом и хранил ее на полке в своем офисе, пока не умер. После смерти Вайкоффа останки Фаррар отправили жене Вайкоффа, которая передала прах Смиту, зятю своей дочери. Смит передала прах своему сыну Дугласу, который передал его своему дяде. После его смерти прах перешел внуку Смита Адаму. В 2007 году об этом узнал Даниэлла Романо (*Daniella Ro-*

mano), архивариус Бруклинской военно-морской верфи, а от него президент *Green-Wood Cemetery* в Бруклине (*Brooklyn, New York*) Ричард Дж. Мойлан (*Richard J. Moylan*) [18]. Благодаря Ричарду Мойлану в мемориальной части кладбища *Green-Wood* 6 октября 2010 г. прошла церемония захоронения урны с прахом Фаррар, созданной местным художником Аароном Дэвидсоном (*Aaron Davidson*). На фарфоровой глазури урны выгравированы слова песни «*I Love You Truly*». Через 44 года Евгения Фаррар нашла настоящий дом. Она больше не будет заперта в старой консервной банке и навсегда останется окутанной своим собственным голосом.

8. Оснащение кораблей *Great White Fleet* системами телефонной беспроводной связи

Контр-адмирал Робли Эванс (*Rear Admiral Robley Dunglison Evans*, 18.08.1846—03.01.1912), командующий *Great White Fleet*, был настолько впечатлен результатами демонстрации телефонных систем дуговой радиосвязи во время регаты *Inter-Lakes Yachting Association Regatta* в июле 1907 года и особенно пением Евгении Фаррар, что приказал, чтобы все суда его флота были оснащены этими устройствами, рис. 9. Под оснащение системами связи Фореста попали 16 линейных кораблей, 6 эсминцев и 2 вспомогательных судна.

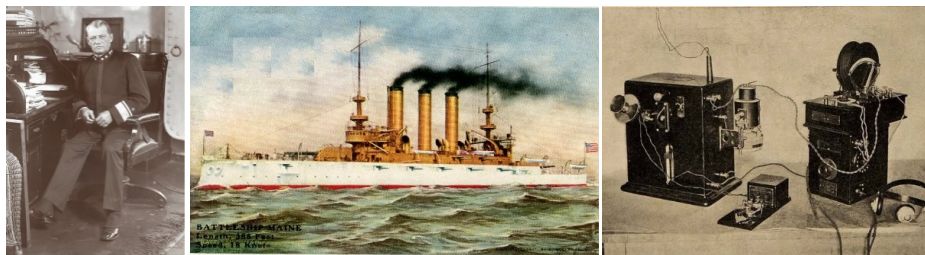


Рис. 9. Контр-адмирал Робли Данглисон Эванс на борту американского корабля «Мэн» (в центре), 1906 г. и телефонная система дуговой радиосвязи, установленная на кораблях *Great White Fleet* (1907 г.).

Fig. 9. Rear Admiral Robley Dunglison Evans aboard the USS Maine (center), 1906 and an arc radio telephone system installed on the ships of the *Great White Fleet* (1907)

До этого времени Ли де Форест не имел такого большого коммерческого успеха. Для компании де Фореста открылись большие возможности, однако времени на производство аппаратуры, ее установке и обучению операторов отводилось очень немного. Одной из особенностей возникшей проблемы явилось то, что военно-морской флот настаивал на том, чтобы

радиоаппаратура устанавливалась на палубе некоторых линкоров, с открытыми элементами оборудования.

По договору, заключенному на поставку радиостанций (рис. 9), было оговорено, что они должны обеспечивать непрерывную связь на расстоянии около пяти миль независимо от туманов или атмосферных возмущений. Однако в реальности дальность радиосвязи в несколько раз была большей, в частности, в отдельных случаях она составляла 26 миль (42 км). Одна из сторон успеха плавания была в том, что во время рейса по вечерам велось «эфирное вещание», во время которого проигрывали грампластинки с флагманского корабля U.S.S. «Огайо» и других кораблей флота.

В комплект телефонной системы дуговой радиосвязи, кроме дугового передатчика, входил радиоприемник на аудионе с управляющим электродом в виде сетки, рис. 10.

Работа радиостанций во время плавания представляла собой смесь успеха и неудачи из-за разного уровня обучения операторов, которое они получили до начала рейса. Неквалифицированная эксплуатация радиооборудования военно-морским персоналом часто приводила к его поломкам. Это существенным образом влияло на коммерческую сторону продаж радиостанций компаниями, что вскоре привело ее к финансовым убыткам.

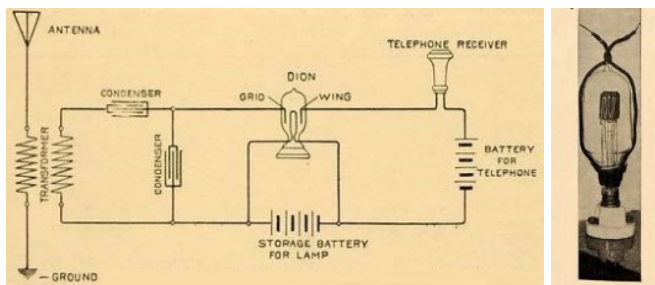


Рис. 10. Принципиальная схема приемника *Audion detector* конструкции Ли де Фореста и общий вид аудионной радиолампы (1907 г.).

Fig. 10. Schematic diagram of the “Audion detector” receiver designed by Lee de Forest and general view of an audion radio tube (1907)

Некоторые из компаньонов де Фореста снова прибегли к продвижению акций компании по продажам, но к этому времени публика стала несколько настороженно относиться к розовому будущему, изображенному на фото и помещенных в рекламных буклетах. В мае 1910 г. *De Forest Radio Telephone Company* и ее дочерние предприятия были преобразованы в *North American Wireless Corporation*, но, невзирая на это, финансовые трудности остались, и деятельность компании почти прекратилась.

9. Вторая любовь Ли де Фореста

В феврале 1907 г., через год после развода, Ли де Форест познакомился с удивительной женщиной, Норой Стэнтон Блатч (*Nora Stanton Blatch (Barney)*, 30.09.1883—18.01.1971), первой женщиной в США, которая получила в 1905 г. инженерный диплом в области гражданского строительства в Корнельском университете¹¹, рис. 11 [19]. Нора начала свою инженерную карьеру работая в Нью-Йоркском совете водоснабжения. Она также работала в компании *American Bridge* в 1905—1906 гг. Помимо этого, Нора была видной активисткой улучшения гражданских прав и прав женщин, следуя примеру ее бабушки Элизабет Кейди Стэнтон (*Elizabeth Cady Stanton*), которая была пионеркой суфражистского движения¹². Во время ухаживания, ради романтических отношений с де Форестом, она оставила свою работу и поступила на курсы электротехники и математики в Колумбийском университете, чтобы потом работать у него в качестве ассистента. Узы, скреплявшие брак Норы и Ли, зиждились на взаимной любви к музыке и поэзии.

Нора в возрасте 25 лет вышла замуж за де Фореста в 1908 году и начала работать в его компании. Де Форесту в этот момент было 35 лет. Медовый месяц пара провела в Европе, во время которого занималась маркетингом радиооборудования компании де Фореста среди потенциальных покупателей.

Блатч работала в компании своего мужа в Нью-Джерси до момента их размовлки (1909 г.). Она помогала в управлении новой компании де Фореста с целью продвижения его изобретения и новых беспроводных технологий. Между супругами возникло инженерное партнерство, и они стали пионерами в области радиовещания. Однако этот брак длился недолго, так как де Форест хотел, чтобы жена отбросила свои профессиональные устремления и стала обычной домохозяйкой. С другой стороны, Блатч хотела контролировать работу завода конденсаторов де Фореста. При этом пара часто спорила между собой. Основным фактором раздора в

¹¹ Корнуоллский университет (англ. *Cornell University*, сокращенно *Kорнелл*) — один из крупнейших и известнейших университетов США, входит в Лигу плюща. Кампус университета находится в Итаке, штат Нью-Йорк (США). Университет был основан в 1865 году Эзрой Корнеллом, бизнесменом и одним из создателей телеграфной индустрии, а также Эндрю Уайтом, известным ученым и политиком. Университет является частным, но спонсируется и штатом Нью-Йорк. На территории Корнелла ведут вещание собственные радиостанции. Владеет обсерваторией Аресибо в Пуэрто-Рико, с которой в 16 ноября 1974 года передатчиком мощностью 0,5 МВт было отправлено в далекий космос веземным цивилизациям «Послание Аресибо».

¹² Суфражистское движение (*womens suffrage*), движение за право женщин на участие в политической жизни и выборах. Суфражистское движение возникло в Великобритании и США в конце XIX века благодаря женщинам из среднего и высшего классов, которые были не удовлетворены своим положением в обществе.

семье стало их профессиональное соперничество. Все это было неприемлемо для жесткой и независимой Норы Стэнтон, и в 1909 г. она оставила своего мужа. В июне 1909 г. Нора родила дочь Харриот (*Harriot*). Нора Стэнтон подала в суд на развод с Форестом, который состоялся в 1911 г. Официально они развелись в 1912 году.



Рис. 11. Общий вид Корнельского университета (1905 г.). Активистка суфражистского движения Нора Стэнтон Блатч (в центре). Фото из архива Корнельского университета США. Справа пример борьбы за права женщин, которая могла выражаться и так: суфражистка демонстрирует свои брюки (1916 г.).

Fig. 11. General view of Cornell University (1905). Suffrage activist Nora Stanton Blatch (center). Photo from the archives of Cornell University in the USA. On the right is an example of a struggle for women's rights, which could have been expressed like this: a suffragist showing her pants (1916)

Второй брак Норы Стэнтон Блатч был с Морганом Барни (*Morgan Barney*), морским архитектором, в 1919 г. Этот брак привел к рождению ее второй дочери *Рода Барни Дженкинс* (*Rhoda Barney Jenkins*, 12.07.1920—25.08.2007). Они переехали в Гринвич, штат Коннектикут, в 1923 г., где Нора Барни работала девелопером¹³. В последующие годы она оставалась политически активной, написав ряд брошюр, в частности, одна из них имела название «Женщины как человеческие существа» (англ. *Women as Human Beings*. 1946 г.).

10. Радиотрансляция с Эйфелевой башни

Де Форест, будучи смелым и энергичным человеком, старался продвигать свои разработки даже в том случае, когда их оригинальность могла быть оспорена другими. Тот факт, что его новое изобретение, трехэлектродный аудион, уже был принят на вооружение военно-морским ведомством США, имело для него огромную ценность. Большое количество сообщений,

¹³ Девелопер — предприниматель, деятельность которого связана с получением прибыли от создания новых объектов коммерческой недвижимости.

появившихся в американских газетах по поводу оснащения *Great White Fleet* адмирала Эванса радиотелефоном, вызвали большой интерес в Европе.

Его намерение провести медовый месяц в Европе и во время этого осуществить беспроводную телефонную трансляцию с Эйфелевой башни явилось самым оригинальным и смелым шагом в его карьере. Он жаждал покорения новых миров в попытке заинтересовать иностранный капитал или европейские правительства новой радиотелефонной системой и его недавно зарегистрированными зарубежными патентами.

В конце 1903 г. Гюстав Эйфель (*Gustave Eiffel*) опасался, что его башня будет разрушена, и сделал ее доступной для армии. Военное министерство создало там условия для проведения исследований в области военной радиотелеграфии под руководством капитана, впоследствии ставшего генералом, Гюстава Ферри (*Gustave Auguste Ferrié*, 19.11.1868—16.02.1932), рис. 10. В том же 1903 году Г. Ферри предложил установить на Эйфелевой башне антенны для дальней беспроволочной телеграфии. Под его руководством на ней разместили передатчик беспроволочной телеграфии, что позволило к 1908 г. увеличить его эффективную дальность действия с начальных 400 км (250 миль) до 6000 км (3700 миль). Запланированная к разрушению в 1909 году Эйфелева башня, высота которой 324 м, избежала этой участи благодаря тому, что ее начали использовать для размещения антенн для радиотелеграфии — предшественницы радиовещания. В 1908 г. с вершины башни были спущены 4 медных кабеля, обращенные к Авеню де Сюффрен (фр. *Avenue de Suffren*), рис. 12. Длина каждого кабеля составляла около 360 м. Это были самые высокие стационарные антенны в мире. Нижние концы кабелей вводились в небольшие деревянные помещения, в которых были размещены радиоустройства.

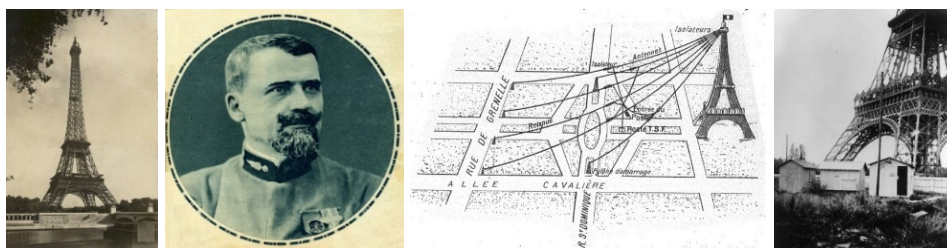


Рис. 12. Общий вид Эйфелевой башни (1908 г.), Гюстав Ферри, общий вид антенного поля из 4 кабелей, установленных на Эйфелевой башне (1908 г.) и технические помещения для радиоустройств возле подножья башни [20].

Fig. 12. General view of the Eiffel Tower (1908), Gustave Ferrié, general view of the antenna field of 4 cables installed on the Eiffel Tower (1908) and technical rooms for radio devices near the foot of the tower [20]

Ли де Форест приехал в Париж в начале 1908 г. В Париже жил дядя Норы, Теодор Стентон (*Theodore Stanton*), который был близким другом тогдашнего военного министра Франции генерала Мари-Жоржа Пикара¹⁴ (фр. *Marie-Georges Picquart*, 06.09.1854—18.01.1914) [6, с. 237]. Благодаря этому де Форест получил разрешение продемонстрировать новый радиотелефон на военной станции Эйфелевой башни и обсудил детали ее проведения [21]. Ему не удалось встретиться с Ферри, так как тот в это время находился в Марокко и налаживал радиосвязь с Парижем. Для экспериментов де Форест получил допуск на использование главной антенны, которая была прикреплена к вершине Эйфелевой башни, а также технические помещения возле нее для размещения привезенного телефонного дугового передатчика и другой аппаратуры.

Зимним вечером, 12 января 1908 г. Ли де Форест послал первое голосовое радиосообщение с Эйфелевой башни в Париже: *I will attempt to play into the air the William Tell Overture* (Я попытаюсь сыграть в эфире увертюру¹⁵ к Вильгельму Теллю). Всю ночь де Форест и его помощники, главным среди которых была его жена, оставались у передатчика и транслировали музыкальные записи с установленных на патефоне граммофонных пластинок. Ранним утром вся команда Фореста возвратилась в свой отель, чтобы дожидаться результатов проведенной радиопередачи. Трансляцию услышали на детекторные приемники 50 человек. В письме от одного инженера, пришедшем позже, с марсельским почтовым штемпелем, сообщалось о приеме всей программы. Место приема, откуда пришло письмо, находилось от Эйфелевой башни на расстоянии 500 миль (805 км).

Во Франции радиотрансляция Ли де Фореста вызвала больший интерес, чем у него на родине, где ему угрожали судебными исками в финансовых и патентных спорах. Демонстрация возможностей радиотелефонной трансляции с Эйфелевой башни потребовала больших финансовых затрат, но рекламная ценность оказалась довольно высокой для новообразованной корпорации — *De Forest Radio Telephone Company*. Это привлекло еще больший интерес к развитию беспроводных телефонных технологий [22]. Уезжая из Парижа, де Форест оставил один из трехэлектродных аудионов в шкафу Ферри, который тот обнаружил со своими сотрудниками. Этот радиокomпонент сразу его заинтересовал.

¹⁴ Мари-Жорж Пикар стал главным героем исторического фантастического триллера 2013 г. английского писателя Роберта Харриса «Офицер и шпион» (*Robert Harris, An Officer and a Spy*), посвященного делу Дрейфуса; от его имени ведется повествование.

¹⁵ Увертюра к опере Россини «Вильгельм Телль» — наиболее известная оркестровая музыка из всей, что включается в программы симфонических концертов, когда хотят исполнить симфонические отрывки из опер; конкурировать с ней может разве что интермеццо из «Сельской чести» Масканы.

11. Модернизация телефонного дугового передатчика

Поездка де Фореста во Францию оказала плодотворное влияние на дальнейшие его разработки, в частности, в области радиовещания. Его эксперименты показали, что для расширения радиовещательной аудитории кроме хорошей антенны необходим передатчик определенной мощности. Поэтому направление разработок после возвращения в США было связано с увеличением мощности телефонного дугового передатчика. С этой целью он заменил спиртовую атмосферу вокруг электрической дуги на водяной пар. Он разработал очень простой метод создания паровой атмосферы прямо у самой дуги, сделав один из электродов в виде тонкого вращающегося медного диска, нижний край которого погружался в емкость с водой. Диск собирал достаточное количество воды, и когда верхний край диска проходил под верхним электродом, то за счет тепла дуги образовывался определенной плотности пар. При подаче на паровую дугу постоянного тока напряжением 500 вольт возникали мощные электромагнитные колебания, близкие по типу к незатухающим колебаниям. Хотя этот тип дуги был более шумным при радиоприеме, чем дуга из углеродистой меди в пламени спирта, но излучаемая мощность была намного больше, чем когда-либо раньше наблюдаемая в экспериментах Фореста. После этого Форест начал проектировать и строить все более мощные паровые дуги этого типа, совершенно не подозревая о том, что уже имеющийся небольших размеров трехэлектродный аудион можно использовать не только в качестве детектора, но и в качестве генератора электрических колебаний. По этому поводу Форест позже сказал [6]: «...если бы я только осознал возможность новой технологии генерирования, то тогда это заставило бы меня без сожаления бросить в мусорное ведро все прекрасные дуговые устройства, которые я когда-либо создал, ради этой технологии, которая несколько лет спустя фактически стала доминирующей во всем мире!».

Во время пребывания во Франции Форест съездил в Берлин, где посетил несколько компаний, в частности, лабораторию известного немецкого радиотехника Георга Зайбта (нем. *Georg Seibt*, 02.09.1874—03.04.1934), которая занималась разработкой передатчиков с использованием принципов гашения искрового разряда. Он обратил внимание на то, что разработчики в этих устройствах вообще не используют старомодные лейденские банки¹⁶ в качестве конденсаторов, а вместо них применяют конденсаторы нового типа в виде стеклянных трубок, изобретенные польским ученым

¹⁶ Емкость лейденской банки незначительна и составляет не более 15 см (0,017 мкФ). Для получения больших емкостей их соединяли в батарею.

Игнацием Мосцицким (польск. *Ignacy Mościcki*, 01.12.1867—02.10.1946). Конденсаторы Мосцицкого тогда производились в больших количествах во городе Фрибурге (фр. *Fribourg*, нем. *Freiburg*) в Швейцарии.

Прибыв в Нью-Йорк, Форест сразу же начал переговоры с фирмой Мосцицкого и без особых задержек и трудностей смог заключить предварительный контракт, разрешающий ему производство этого нового устройства в Соединенных Штатах и Канаде. Поскольку процесс серебрения внутренних и внешних поверхностей длинных стеклянных трубок Мосцицкого был деликатным и сложным процессом, требующим очень осторожной обработки и квалифицированного понимания, сразу стало очевидно, что необходимо отправить инженера из компании Фореста на завод во Фрибурге для подробного изучения этого нового процесса. Нора Блатч де Форест была идеальным человеком для этой миссии. Предложение очень понравилось Норе. Без промедления она организовала поездку из Англии во Фрибург, где в течение всего лета тщательно изучила каждую деталь операции по созданию, сборке и испытанию новых конденсаторов.

12. Конденсатор Мосцицкого

В начале XX века в промышленности и сельском хозяйстве повысился спрос на азотную кислоту. Это было связано с истощением чилийских месторождений нитратов, которые использовались при производстве азотной кислоты и азотных удобрений. Проблемой получения азота и кислорода из воздуха для производства азотной кислоты заинтересовался польский химик Игнаций Мосцицкий, который работал ассистентом в университете¹⁷ швейцарского города Фрибург, рис. 13.

Исследования Мосцицкого показали, что использование токов высокой частоты увеличивает выход азотного продукта при его производстве. На основании этого он разработал метод, в котором при окислении атмосферного азота используется очень высокое напряжение, порядка 50 кВ, и конденсаторы для преобразования обычной частоты переменного тока в переменный ток повышенной частоты 10 кГц. Однако оказалось, что никто в мире не производит конденсаторы, способные выдерживать такое высокое напряжение при длительной непрерывной работе, и что нет даже теоретической основы для их конструирования. Именно тогда Мосцицкий

¹⁷ Университет Фрибурга (фр. *Université de Fribourg*, нем. *Universität Freiburg, UniFr*). Находится в городе Фрибурге (Швейцария). Подчинен одноименному кантону. Основан в 1889 г. Единственный двуязычный университет в Швейцарии (французский и немецкий языки). Имеет пять факультетов: католического богословия, юридический, экономических и социальных наук, филологический, естественных и медицинских наук.

заялся исследованием прочности стекла на пробой. Он проанализировал также пробой эбонита, фарфора, натурального каучука и других известных диэлектриков. На основании результатов своих экспериментов и расчетов он пришел к выводу, что по сравнению со всеми другими исследованными им материалами, стекло обладает лучшими диэлектрическими свойствами. Этот вывод стал решающим при выборе стекла в качестве объекта для его дальнейших экспериментов.



Рис. 13. Игнаций Мосцицкий (1907 г.). Здание математико-естественнонаучного факультета университета Фрибурга (1896 г.). Конденсаторная лаборатория Мосцицкого в Фрибургском университете.

Fig. 13. Ignacy Mościcki (1907). Building of the Faculty of Mathematics and Science of the University of Fribourg (1896). Moscitsky's Condenser Laboratory at the University of Fribourg

Исследование свойств диэлектриков было первой научной разработкой Игнация Мосцицкого. Его первые научные результаты были опубликованы в 1904 г. [23, 24]. Сначала Мосцицкий сконструировал пластинчатые конденсаторы, конструкция которых использовалась в то время. В экспериментах для изготовления пластин конденсатора использовались различные металлы с разной толщиной покрытия. Стекло оказалось устойчиво к высокому напряжению, но оно слишком быстро нагревалось, а затем растрескивалось. В ходе этих экспериментов Мосцицкий заметил, что электрический пробой диэлектрического слоя происходил не в середине пластин, а на их краях. Он пришел к выводу, что в такой ситуации необходимо дифференцировать толщину диэлектрического слоя, то есть по краям он должен быть толще, а в центральной части пластины — меньше. Конденсаторы с более толстыми краями сохраняли ту же емкость и сопротивление, но были намного более устойчивы к электрическому пробую. Принимая во внимание все это, он в результате экспериментов определил, что лучшей формой для такого устройства будет стеклянная трубка со стенками с утолщением по краям, рис. 14.

Предложенная форма конденсатора имела дополнительное преимущество, а именно: все устройство не очень сильно нагревалось при про-

хождении через него электрического тока. К тому же такой конденсатор было легче охлаждать. Эта идея была полностью оригинальной и заслуживала получения патента. Его автор сделал проработку деталей и вскоре приступил к лабораторным испытаниям. Результаты оказались превосходными, что позволило подготовить соответствующую заявку и отправить ее в патентное бюро в Берне. В 1904 году он получил патенты Великобритании (GB190401308A) и США (US761090A), а позже Швейцарии (CH38530A) и других стран.

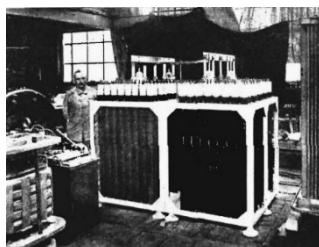
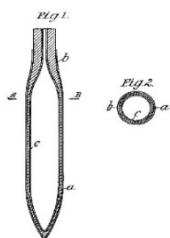


Рис. 14. Сечение стеклянного корпуса конденсатора Мосцицкого. Рисунок из патента Мосцицкого GB190401308A с приоритетом от 18 января 1904 г. Батарея из конденсаторов Мосцицкого (справа).

Fig. 14. Cross-section of the glass case of the Mościcki condenser. Drawing from Mościcki's patent GB190401308A with priority dated January 18, 1904. A battery from Mościcki capacitors (right)

Для использования патентов Мосцицкого во Фрибурге был построен конденсаторный завод. Произошло это в 1903 г. (завод работает до настоящего времени). Первоначально он назывался «Швейцарская фабрика конденсаторов Жана де Модзелевского и Ко» (фр. *Fabrique Suisse de Condensed Jean de Modzelewski et Cie*) и был первым заводом высоковольтных конденсаторов в Европе. В 1906 г. конденсатор Мосцицкого получил золотую медаль на промышленной выставке в Милане.

Конденсаторы, на которые Мосцицкого получил патент, были сделаны из стекла и имели форму узкой, очень вытянутой бутылки с утолщенным горлышком и закругленным толстым дном, рис. 15. Его внешняя и внутренняя стенки были покрыты тонким слоем серебра, выполнявшим функции обкладок конденсатора. Прочное гальваническое медное покрытие, закрепленное на пластинах, защищало хрупкие стенки от возможных механических повреждений. Все это было помещено в металлический цилиндр из железа или латуни, наполненный водой, смешанной с глицерином (конструкция, похожая на кулер). Глицерин предотвращал замерзание охлаждающей жидкости при низких температурах. Резиновые кольца, закрепленные в определенных местах, гарантировали герметичность конструкции. Провода для соединения пластин конденсатора с токовыми выходами, расположенными снаружи, были пропущены через эти кольца.

Эти конденсаторы можно было связывать таким образом, чтобы сформировать батареи меньшего или большего размера, которые были бы

устойчивы к соответственно более высокому напряжению. Батареи конденсаторов Мосцицкого успешно применялись в электрических цепях с напряжением до 100 кВ. В то время они были лучшими конденсаторами в мире.

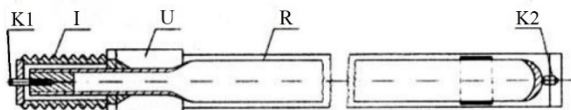


Рис. 15. Чертеж промышленного образца конденсатора Мосцицкого [25].

Поперечное сечение основной ячейки: I — ввод, K1, K2 — выходы обкладок, R — стеклянная трубка, покрытая с двух сторон слоем серебра, U — прокладка.

Fig. 15. Drawing of an industrial design of the Mościcki capacitor [25]. Cross-section of the main cell: I — inlet, K1, K2 — leads of the plates, R — glass tube coated on both sides with a layer of silver, U — gasket

Конденсаторы Мосцицкого, поставляемые на мировые рынки, вскоре нашли множество применений для защиты электрических сетей от грозовых разрядов, а также в качестве конденсаторных батарей мощных радиотелеграфных станций. Самая большая на тот момент батарея 100 кВ была установлена на Эйфелевой башне в Париже, рис. 16. Благодаря этому в январе 1908 г. удалось установить радиосвязь с броненосным крейсером¹⁸ *Kleber*, находившимся в Средиземном море. В это время происходил захват Марокко Францией или Вторая франко-марокканская война (1907—1912 гг.), в результате которой султанат Марокко из независимого государства превратился во французский протекторат. Этот конфликт продемонстрировал преобладающую роль беспроводных средств связи в предоставлении возможности информировать командование и правительство в Париже о боевых действиях французских войск.

Конденсаторы Мосцицкого использовались также для выравнивания фазового сдвига в сетях с высокой индуктивной нагрузкой, для создания искусственной фазы при запуске однофазных двигателей, для сглаживания выпрямленных токов в рентгеновских аппаратах и т. д.

Конденсаторы системы Мосцицкого надежно служили в радиостанции, установленной на Эйфелевой башне, во все годы Первой мировой войны и позже. В межвоенный период 1918—1939 гг., после того, как выяснилось, что вместо хрупкого и тяжелого стекла можно использовать другой диэлектрический материал, они потеряли свое значение. В 20-е гг. XX века на смену им пришли бумажные конденсаторы Фишера (*paper capacitors of*

¹⁸ Броненосный крейсер — класс крейсеров, существовавший во второй половине XIX — начале XX веков. Являлись вторым по силе классом военных кораблей ведущих флотов после броненосцев. Наиболее характерной чертой броненосных крейсеров был броневой пояс по ватерлинии.

Fischer), производимые компанией *Meirowsky* в немецком городе Порце (нем. *Köln-Porz*). Стекло уступило место бумаге, пропитанной смолой. Несколько позже было обнаружено, что использование бакелита для пропитки бумаги позволяет этому типу конденсаторов работать при напряжении более 100 кВ, чего не удавалось достичь в стеклянных конденсаторах.



Рис. 16. Общий вид батареи из конденсаторов Мосцицкого, которая использовалась в радиотелеграфной станции на Эйфелевой башне в Париже (1908 г.). Броненосный крейсер *Kleber*, с которым была установлена связь с Эйфелевой башни (слева), когда он находился в Средиземном море в районе Гибралтара (1908 г.).

Fig. 16. General view of the battery of Mościcki capacitors, which was used in the radiotelegraph station at the Eiffel Tower in Paris (1908). Armored cruiser “Kleber” with which communication was established with the Eiffel Tower (left), when she was in the Mediterranean Sea near Gibraltar (1908)

13. Метаморфозы Игнация Мосцицкого

Если Ли де Форест с юных лет стремился к занятиям научными исследованиями в области беспроводной связи, и его не занимали мысли о попадании во властные структуры США, то Игнаций Мосцицкий, наоборот, с юных лет выбрал путь революционера (рис. 17), и благодаря своим природным дарованиям, сумел интерес к науке превратить в бизнес.

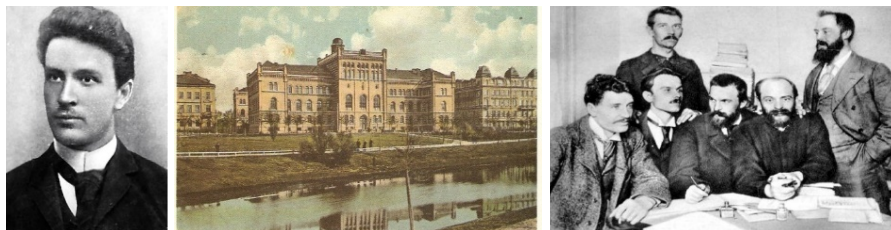


Рис. 17. Студент Игнаций Мосцицкий. Рижский политехникум (1890 г.). И. Мосцицкий (первый слева) в Лондоне среди других польских социалистических активистов (Юзеф Пилсудский в центре). 1894 г.

Fig. 17. Student Ignacy Mościcki. Riga Polytechnic (1890). I. Mościcki (first from left) in London among other Polish socialist activists (Józef Piłsudski, center). 1894

Мосцицкий вырос в семье помещика. Его отец участвовал в Январском восстании¹⁹ 1863 г. в Царстве Польском. Игнаций, учась в Рижском политехникуме на химическом факультете (1886—1891 гг.), стал активистом подполья социалистической партии «Пролетариат». В 1892 после провала террористического акта в варшавском православном Троицком соборе, в подготовке которого он принял участие, эмигрировал из Российской империи в Великобританию, где в 1894 г. познакомился с Юзефом Пилсудским.

В 1897 г. Мосцицкий оказался в Швейцарии, где, благодаря своим знаниям и образованию, получил работу ассистента во Фрибургском университете. В Швейцарии он организовал собственное акционерное общество, благодаря которому внедрял свои изобретения и технические решения. В промышленных масштабах он применил изобретенный им метод получения азота из воздуха с помощью электрической дуги. Признание и известность принесли ему также конструкции конденсаторов большой мощности. Благодаря своему таланту и упорному труду, он стал одним из лучших специалистов в области химии во всей Европе. В 1912 г. Мосцицкий переехал во Львов, где возглавил кафедру физической химии и технической электрохимии местного политехнического университета. В 1925 г. он стал ректором этого университета и одновременно начал работать в Варшавском технологическом университете. Мосцицкий был автором огромного количества научных работ и патентов, как польских, так и зарубежных.

После майского переворота в Польше (польск. *Przewrót majowy* или *zamach majowy*, 12—14 мая 1926 г.), который привел к отставке президента Станислава Войцеховского, маршал Юзеф Пилсудский до 1935 г. фактически установил военную диктатуру. 31 мая 1926 г. новое Национальное собрание (польск. *Zgromadzenie Narodowe Polski*) избрало Пилсудского на пост президента, от которого он отказался. На этот пост Пилсудский предложил профессора Игнация Мосцицкого, рис. 18. Мосцицкий баллотировался на президентских выборах также при поддержке маршала Пилсудского. В июне того же года, после победы во втором туре выборов Национального собрания, он стал президентом Второй Польской республики. В течение семилетнего срока полномочий Мосцицкий

¹⁹ История всех выступлений поляков против Российской империи — это увлекательная история, повторявшаяся каждые 30 лет: восстание Костюшко (1794), Ноябрьское восстание (1830), Январское восстание (1863). В ней было все: кровавые стычки, семейные драмы, образцы храбрости и низости и шпионское искусство. Январское восстание, как и все предыдущие, закончилось поражением мятежников. Им не помогли ни репрессии против малороссийских и белорусских крестьян и помещиков, не желавших присоединяться к восставшим (особенно этим грешил один из руководителей восстания — Зигмунт Падлевский), ни дипломатическое давление, оказываемое исподволь на Россию западными державами [26].

развивал и продолжал политическую линию Пилсудского, в основном направленную на поддержание равноправных отношений с Советским Союзом и Германией.



Рис. 18. Маршал Юзеф Пилсудский во время переворота (Май 1926 г.). В центре, слева направо: Маршал Юзеф Пилсудский, Игнаций Мосцицкий, Казимеж Бартель после президентских выборов 1926 г. Портрет президента Польши Игнация Мосцицкого (1926 г.).

Художник Константы (Константин) Гурский (польск. *Konstanty Górski*, 1868—1934)

Fig. 18. Marshal Jozef Pilsudski during the coup (May 1926). Center, left to right: Marshal Jozef Pilsudski, Ignacy Moscicki, Kazimierz Bartel after the 1926 presidential election. Portrait of the President of Poland Ignacy Moscicki (1926). Artist Constanty (Konstantin) Gursky (Polish.

Konstanty Górski, 1868–1934)

9 мая 1933 г. в Королевском замке в Варшаве, который Мосцицкий сделал резиденцией главы государства, он был приведен к присяге Национальным собранием на второй президентский срок.

1 сентября 1939 г. в первый день Польской кампании вермахта президент Мосцицкий опубликовал обращение к польскому народу с призывом сражаться. Согласно статье 13 апрельской конституции 1935 г. президент назначил своим преемником маршала Рыдза-Смиглого. После нападения Германии на Польшу Мосцицкий и правительство покинули Варшаву и переместились в деревню Блота под Варшавой.

В условиях быстрого продвижения немецких войск глава государства был вынужден 8 сентября переехать в город Олыка на Волини. Далее, 14 сентября, он перенес свою резиденцию в Залуч. 17 сентября, после известия о вступлении РККА в Польшу, Мосцицкий пересек границу с Румынией. Там он был интернирован и 25 сентября передал должность президента генералу Болеславу Веняве-Длугошевскому. Однако с этим не согласились французские власти, которые потребовали передачи поста президента Владиславу Рачкевичу. Мосцицкий выполнил это условие 30 сентября 1939 г.

25 декабря 1939 г. Мосцицкий вместе с семьей выехал в Швейцарию, где стал работать химиком в лаборатории в Женеве. В работе польского

правительства в изгнании он не участвовал. Экс-президент Польской республики Игнаций Мосцицкий скончался в эмиграции в 1946 году.

14. Радиотрансляция со сцены Метрополитен-опера

Вернувшись из своего свадебного путешествия, де Форест продолжил заниматься вопросами радиовещания. В начале 1909 г. он организовал, по всей видимости, первое публичное выступление по радио для своей свекрови Харриот Стэнтон Блатч (*Harriot Eaton Stanton Blatch*, 20.01.1856—20.11.1940), которая высказалась в поддержку избирательного права женщин. В своей речи она, в частности, сказала: «Я выступаю за достижения двадцатого века. Я верю в его научные разработки, в его политические программы. Я не откажусь от использования инструментов, которые прогресс предоставляет в мое распоряжение. Я буду пользоваться телеграфом с проводами или без проводов, телефоном с проводами или без проводов, всем и вся, что современная цивилизация предоставляет в мое распоряжение. При этом я не забываю о том, что высокоразвитый метод регистрации моих политических взглядов — это урна для голосования» [27]. Это живое выступление по радио стало важной вехой в радиовещании.

Эксперименты с радиовещанием натолкнули де Фореста на мысль о том, что для демонстрации потенциала своей телефонной радиосистемы ему нужен эффектный рекламный ход. Ли де Форест был большим любителем оперы. Во время безденежья и одиночества он черпал жизненные силы в посещениях оперы. Обычно он мог позволить себе только билет за двадцать пять центов, который давал ему место на галерке зрительного зала оперного театра. Де Форест был страстным меломаном и считал несправедливым тот факт, что свободный доступ к красивой музыке предоставлен в первую очередь тем, кто финансово состоятелен. Де Форест был убежден, что в Америке есть тысячи других обездоленных поклонников музыки, которые хотели бы, чтобы опера транслировалась в их дома. Он решил использовать свой радиотелефон не только для передачи сообщений точка — тире, но и для передачи музыки и речи. Эта концепция места радио в социальном и экономическом ландшафте Америки была оригинальной, революционной и сильно отличалась от концепции его современников Р. Фессендена, Г. Маркони и других. Форест задумал организовать доступное радиовещание. Это было понимание, подпитываемое не только убедительным техническим видением, сколько желаниями и стремлениями социальных изгоев [28].

В мае 1907 г. в проспекте, выпущенном компанией Фореста, было написано [29]: «Скоро станет возможным трансляция музыки Гранд-опера передатчиками со сцены Метрополитен-опера (*Metropolitan Opera* или

Met) в Нью-Йорке на радиотелефонные станции, установленные на крышах практически любых домов в Большом Нью-Йорке и его окрестностях». Возможно, вдохновленный древним представлением о гармонии сфер²⁰ (музыке сфер), он уверовал в высокое качество передачи музыки по радиоволнам и придумал понятие музыкальное вещание.

Вечером 13 февраля 1909 г. в таверне Фраунсес (*Fraunces's Tavern*) Нью-Йорка состоялся банкет, данный представителями компании *Ellsworth Company* по случаю недавнего успешного завершения финансирования *Great Lakes Radio-Telephone Company*²¹ [30]. Более 100 представителей компаний со всех уголков США присутствовали на банкете, который проходил в Длинном зале²², где Джордж Вашингтон (англ. *George Washington*) прощался со своими офицерами в 1783 году. В центре внимания этого мероприятия был Ли де Форест. Он выступил с речью, посвященной усовершенствованию его новой системы беспроводной передачи звуковой информации, которая, по его словам, должна произвести революцию в современных методах связи. В докладе он, в частности, сказал: «Я с нетерпением жду того дня, когда с помощью этого средства оперу можно будет доставить в каждый дом. Когда-нибудь новости и даже реклама будут рассылаться широкой публике по беспроводному телефону».

В январе 1910 г. Форест решил передать в эфир голос певца Энрико Карузо (*Enrico Caruso*) со сцены Метрополитен-опера (*Metropolitan Opera*), рис. 19. С этим предложением он обратился к ее генеральному менеджеру Джулио Гатти-Казацца (*Giulio Gatti-Casazza*, 03.02.1869—02.09.1940), который идею не понял и не проявил к ней интереса. Ли де Форест долгое время не мог получить согласие Джулио Гатти-Казацца на осуществление предложенной радиопередачи. Однако он все же добился необходимого разрешения на экспериментальную трансляцию, после того как сумел заинтересовать Гатти-Казацца тем, что тот сможет услышать все, что происходит на сцене, не выходя из своего офиса. С этой целью Форест, чтобы показать, что он имеет в виду — музыку, которую можно было слушать на расстоянии, взял и повесил микрофон над сценой Метрополитена и подключил его к телефону на столе Гатти-Казаццы. Таким об-

²⁰ В др.-греч. философию учение о гармонии сфер, по преданию, было введено Пифагором, но впервые засвидетельствовано для «пифагорейцев» (5 в. до н. э.) Аристотелем в трактате «О небе». В изложении Аристотеля «скорости (светил), измеренные по расстояниям, относятся между собой так же, как тоны консонирующих интервалов», и поэтому «звучание, издаваемое светилами при движении по кругу, образует гармонию».

²¹ *Great Lakes Radio-Telephone Company* была организована Ли де Форестом в 1908 г. с уставным капиталом \$1 млн., обанкротилась в 1911 году.

²² Именно в Длинном зале, относящимся к таверне «Фраунсес», Джордж Вашингтон разбил последние надежды тех, кто жаждал, чтобы он согласился стать королем Америки.

разом менеджер мог слышать в своем офисе то, что происходит на сцене. В восторге от этого подслушивающего устройства, Гатти-Казацца позволил де Форесту осуществить задуманное.



Рис. 19. Метрополитен-опера (*Broadway & 39th Street*). 1905 г. Джулио Гатти-Казацца. 1908 г.

Fig. 19. Metropolitan Opera House, Broadway & 39th Street). 1905. Giulio Gatti-Casazza. 1908

Началась подготовка к радиотрансляции. Ли де Форест нанял для радиоконцерта певцов. За кулисами в Метрополитен-опера был установлен передатчик и натянута антенна между двумя мачтами на его крыше, а ее ввод проведен через мансарду рядом с залом для репетиций балета. В качестве мачт использовались длинные бамбуковые удочки для рыбалки. Для радиотрансляции был привезен и установлен в комнате на верхнем этаже оперного театра (*Opera House*) модернизированный малогабаритный телефонный дуговой радиопередатчик мощностью 0,5 кВт конструкции Ли де Фореста, рис. 20. Передатчик содержал конденсатор Мосцицкого и дугу, способную работать в атмосфере водяного пара.

Аудионные радиоприемники для приема радиотрансляции были установлены в радиолaborатории де Фореста, на борту судов в гавани Нью-Йорка, в крупных отелях и на Таймс-сквер в Нью-Йорке. Широкая аудитория могла слушать трансляцию во многих местах Нью-Йорка, для чего были установлены приемники с наушниками. Принципиальная схема одного из таких радиоприемников *Audion detector* приведена на рис. 10.

Накануне радиопередачи, газета *The New York Times* сообщила, что «...это будет только эксперимент и положительных результатов сразу не ожидается». 12 января 1910 г. стало первым днем экспериментальной прямой трансляции оперы по радиоволнам. Для радиотрансляции было установлено два микрофона, один на сцене, другой — за кулисами. В эфире звучали II и III акты оперы «*Тоска*» (итал. *Tosca*) Джакомо Пуччини (итал. *Giacomo Puccini*); в главной роли Скарпия — Антонио Скотти. Трансляция была слышна в Ньюарке (англ. *Newark*), крупнейшего города штата Нью-Джерси на северо-востоке США. Первый в мире прямой ра-

диоэфир оперных арий прошел довольно успешно. Это было впервые, когда публика за пределами оперного театра слышала представление со сцены Метрополитен-опера.



Рис. 20. Ли де Форест у малогабаритного дугового радиопередатчика (1907 г.).
Зрительный зал Метрополитен-опера.

Fig. 20. Lee de Forest at the small-sized arc radio transmitter (1907).
Metropolitan Opera Auditorium

Газета *The New York Times* оценила радиус радиоприема в 50 миль (80 км) с учетом низкой высоты крыши оперного театра [29]. Радиопередача была также принята не только городскими радиослушателями, но и радистами морских судов, пришвартованными на пирсе Манхэттена. Как часто бывает, после достаточно успешного эксперимента идея получает дальнейшее развитие.

На следующий день к организации первых радиотрансляций полноформатных оперных спектаклей была привлечена компания *National Dictograph Company*. Совсем недавно руководство оперы заказало у этой компании новый тип акустического микрофона для установки на сцене Метрополитен-опера, чтобы выступления можно было слушать по обычной проводной телефонной сети в различных офисах здания [31]. Установленный микрофон представлял собой громкоговорящее устройство, используемое в «диктографе» (англ. *Dictograph*), производимом *General Acoustic Company*, владельцем которой был Келли Монро Тернер (*Kelly Monroe Turner*). Этот микрофон содержал 6 камер с небольшими угольными шариками и был известен под названием *Metrophone*²³. Микрофон фиксировал звуковые волны диапазона человеческой речи на расстоянии около 1,5 метров. Поскольку микрофон был способен принимать звук отовсюду (на сцене и в оркестровой яме), это было именно то, что подходило де Форесту. Он получил разрешение на подключение своего передатчика к

²³ На микрофон *Metrophone* Келли М. Тернер и Нортон Джонсон (*Norton Johnson*) получили патент US844635A в 1907 г.

телефонной сети, установленной *National Dictograph Co.* Этим было обеспечено техническое и технологическое звуковое сопровождение оперных спектаклей для телефонного дугового передатчика де Фореста.

Компания Тернера пригласила репортеров в его штаб-квартиру на Бродвее 1269 послушать две оперы и создала им надлежащие условия для репортажей. В приглашении для прессы говорилось, что прекрасные голоса будут «уловлены и усилены диктографом прямо со сцены Метрополитен-опера, и переданы беспроводными волнами Герца над бурными водами морей на трансконтинентальные и прибрежные корабли, а также над горными вершинами и холмистыми долинами страны» [32].



Рис. 21. Оперные певцы, участники радиотрансляции 13 января 1910 года: слева — Энрико Карузо в роли Канио (клоуна) в опере «Паяцы», в центре — Эмми Дестинн и справа — Риккардо Мартин в роли Турриду в опере «Сельская честь».

Fig. 21. Opera singers participating in the radio broadcast on January 13, 1910: left – Enrico Caruso as Canio (clown) in the opera “Pagliacci”, in the center – Emmy Destinn and right – Riccardo Martin as Turrigo in the opera “Cavalleria Rusticana”

Вечером 13 января 1910 г. прозвучали в живом исполнении (рис. 21) арии из опер: «Паяцы»²⁴ (итал. *Pagliacci*) итальянского композитора Руджерио Леонкавалло, в которой в главной роли Канио выступил великий итальянский певец Энрико Карузо (*Enrico Caruso*), *Cavalleria Rusticana*²⁵ Пьетро Масканьи с суперзвездой Эмми Дестинн (*Emmy Destinn*) в роли Сантуццы (*Santuzza*) и Риккардо Мартином (*Riccardo Martin*) в роли Турриду (*Turridu*). Художественная трактовка исполненных произведений была осуществлена под управлением итальянского дирижера Эджисто

²⁴ Частью оперы «Паяцы» является одна из самых популярных в мире арий — *Recitar! Vesti la giubba* (Пора выступать! Пора надеть костюм!).

²⁵ «Сельская честь» (итал. *Cavalleria rusticana*) - опера Пьетро Масканьи, созданная в 1890 году по новелле Дж. Верги «Сельская честь». В честь персонажа оперы Лола назван астероид (463) Лола, открытый в 1900 году.

Танго (итал. *Egisto Tango*, 13.11.1873—05.10.1951). Между выступлениями артистов де Форест делал различные объявления, которые были услышаны множеством станций. День, когда состоялась эта радиотрансляция, считается рождением эфирного вещания.

Эта демонстрационная трансляция была частью несколько отчаянной и в конечном итоге безуспешной попыткой компании, находящейся в затруднительном положении, добиться некоторого прогресса в достижении экономической жизнеспособности в последней в серии тестовых трансляций. Реальный результат от проведенных с большой пышностью трансляций был небольшой. Аудитория слушателей, однако, восприняла трансляцию 13 января с восторгом, но были слышны и насмешки.

15. Анализ и выводы по проведенной радиотрансляции со сцены Метрополитен-опера

Радиотрансляция из Метрополитен-опера была экспериментальной и шла с неустойчивым сигналом. На приемной станции в офисе мистера Тернера «волны бездомных песен не могли найти себя» из-за постоянных перебоев, которые, как утверждается, исходили со станции *Manhattan Beach*. Эта станция, как выяснилось, несмотря на все просьбы, была настроена на ту же волну 850 метров, что и передатчик де Фореста.

В отчете, составленном об этой трансляции, отмечено, что во время радиопередачи были «некоторые перерывы» из-за преднамеренного вмешательства оператора станции *Manhattan Beach* компании *United Wireless Co.* Журналисты газеты *New-York tribune* рассказывали, что они в эти моменты явно слышали икание оператора и его слова: «...я сейчас возьму пиво и пойду на свое место» [33].

Помехи от других станций, включая передачу кодов и обрывки непристойных разговоров между неизвестными операторами, вызывали некоторые трудности при прослушивании. Наблюдалось затухание сигнала. «Волны бездомных песен», как выразилась газета *The New York Times*, продолжали сбиваться с пути [34]. Согласно ее отчету, один слушатель, когда его спросили, слышал ли он пение, ответил, что временами его охватывало «чувство экстаза».

Причиной низкого качества передаваемого звука явились проблемы с помехами и отсутствие в оперном театре микрофонов с более высокой чувствительностью, чем те, что использовались для трансляции.

Проведенная трансляция, по мнению Фореста, выявила несколько слабых мест в используемых методах для ее проведения, включая сложность использования диктографа для передачи голосовых звуков, произ-

носимых на расстоянии около 30 футов (9 м) от микрофона. По его данным, не менее 90 % громкости голосов терялась, не достигнув микрофона.

Удовлетворительные результаты были получены на станциях, где использовался магнитный детектор Маркони. Также не было сбоев в получении большей части музыки, когда приемник был оснащен аудиом. Приемники на аудионе находились в лаборатории Фореста в здании *Old Terminal Building, 103 Park Row* и на станции *Metropolitan Tower*, а также в отеле «Бреслин» (*Hotel Breslin*) и на заводе *Radio Telephone Company* в Ньюарке. Отмечалось, что все эти станции дали обнадеживающие результаты, хотя были некоторые паузы при приеме в отеле «Бреслин», где использовалась только временная антенна длиной 30 футов (9 м). Эти паузы происходили из-за преднамеренных или излучаемых со стороны оператора «Манхэттена» помех, а также станции компании *United Wireless*. Все другие станции беспроводной связи вежливо воздерживались от ненужных демонстраций своей мощности, а компания *Marconi* особенно учтиво разместила специальное оборудование на борту корабля *Avon*, стоящего на якоре у 13-й улицы в Северной реке (*13 Street in the North River*).

В 1929 году де Форест отметил: «Наши амбиции намного превысили наши возможности. Используемый для передачи дуговой генератор оказался очень неэффективным, ко всему прочему малой чувствительности микрофоны способны были улавливать звуки только в том случае, если источник звука находился в непосредственной близости от устройств. Также не было подходящего средства усиления слабых электрических сигналов от микрофонов, и поэтому звук не оказывал особого влияния на генерируемую несущую частоту. Перед лицом всех этих, казалось бы, непреодолимых препятствий, я был вынужден отказаться от усилий по налаживанию вещания до того момента, пока подходящие устройства поступят в мое распоряжение».

Несмотря на различного рода трудности, радиопередачу удалось принять далеко за пределами Нью-Йорка, например, в Ньюарке ²⁶ (*Newark*, штат Нью-Йорк) и Нью-Джерси ²⁷ (*New Jersey*, штат *New Jersey*) [19, p. 232].

Спустя годы изобретатель аудиона сказал: «Эта передача голоса Карузо была первой трансляцией музыки, без использования фонографа. Хотя только несколько любителей и операторов морских судов слышали голос великого певца, мы знали, что это был успех» [35].

²⁶ Город Ньюарк находится на расстоянии 295 км от Нью-Йорка.

²⁷ Город Нью-Джерси находится на атлантическом побережье недалеко от Нью-Йорка (126 км).

16. Заключение

Де Форесту удалось убедить Американское военно-морское ведомство в необходимости установки беспроводного телефона на мостике основных судов эскадры «Великого Белого Флота», чтобы офицер мог разговаривать с офицером без оператора-посредника. Эта идея была технически и стратегически верной, но потерпела неудачу по нескольким причинам. Во-первых, стандартный беспроводной телеграф и новый телефон не могли работать одновременно, дуплексный режим не был предусмотрен и даже не предполагался. Во-вторых, «новомодная» установка требовала технического персонала, чтобы поддерживать ее в рабочем состоянии, и в те времена такие люди были операторами, а не офицерами. Были и другие трудности, как и следовало ожидать от новаторской установки. Идея не сработала так, как надеялся ее разработчик, тем не менее, с ее помощью было получено много положительных результатов. Одним из них была «трансляция» граммофонных пластинок в ночное время на кораблях «Великого Белого Флота» во время кругосветного путешествия. По завершению кругосветного плавания комплекты систем радиосвязи были объявлены ненадежными и не подходящими для удовлетворения потребностей флота. В результате они были сняты с кораблей и отправлены на склад.

Де Форест сделал ряд широко разрекламированных экспериментальных и рекламных широкоэмиттерных передач, но в конечном итоге ему не удалось разработать надежную телефонную дуговую систему. Главной проблемой, вероятно, был тот факт, что он так и не удосужился приобрести права на использование патентов Паульсена, что, похоже, привело его к некоторым неудачным инженерным решениям.

Де Форест был одним из первых²⁸, кто предложил использовать радиосигналы для трансляции развлекательных программ для широкой аудитории. Ночная радиотрансляция 13 января 1910 года приобрела значение главным образом как символ. Это ознаменовало начало века радиовещания, золотого века радио, который, в конце концов, затмила в середине XX в. появившаяся новая технология — телевидение.

Список литературы

1. Пестриков В. М. Генезис аудиона Ли де Фореста // Инфокоммуникационные и радио-электронные технологии. 2021. Т. 4, № 1. С. 42—79.
2. Oral History : Lloyd Espenschied. URL: https://ethw.org/Oral-History:Lloyd_Espenschied (дата обращения: 06.07.2021).

²⁸ В истории радиовещания упоминается доктор Отто Нуссбаумер (*Otto Nussbaumer*) из университета Граца в Австрии, который в 1904 г. с помощью экспериментального радиопередатчика транслировал австрийскую народную песню в соседнюю комнату лаборатории, где прием осуществлялся на детекторные приемники.

3. Farley Tom. Telephone History Series. P. 6. URL: https://www.international-phone-card.info/telephone_history_series6.htm (дата обращения: 06.07.2021).
4. Степанова О. Способным завидуют, талантливым вредят, гениальным — мстят. URL: <https://uchportfolio.ru/blogs/read/?id=1820> (дата обращения: 12.05.2021).
5. Vintage Advertising & Company. Histories. Companies founded in 1907, Companies of New York, Companies of New York City, NY. DeForest Radio Company. URL: https://mycompanies.fandom.com/wiki/DeForest_Radio_Company (дата обращения: 08.07.2021).
6. Lee De Forest. Father of Radio. The Autobiography. 1st edition. Wilcox & Follett Co., Chicago, 1950. P. 219–220.
7. Wade Herbert T. Wireless Telephone for the Navy // Telephony. May 1908. P. 365–367.
8. Wireless phone transmits music // New York Herald. March 7, 1907. P. 8.
9. Radio Telephony tests successful // Telephony. September 1907. Vol. 14. No. 3. P. 168–169.
10. Reporting Yacht Races by Wireless Telephony // Electrical world. August 10, 1907. Vol. 50. No. 6. P. 293–294.
11. Quirk N. J. Wireless Telephony in the Navy // Telephony. January 1908. Vol. 15. No. 1. P. 30–33.
12. Wireless Telephones at Sea // The Outlook, October 12, 1907. P. 279.
13. Wireless telephony // The Electrician. November 8, 1907. Vol. 60. No. 4. P. 135.
14. Farrar Eugenia H. I Was First to Sing Over the Radio // The American Swedish Monthly. January 1955. P. 10, 26.
15. Schubin Mark. Media-Technology and Opera History. URL: <https://www.sportsvideo.org/2013/03/19/media-technology-and-opera-history/> (дата обращения: 31.08.2021).
16. Wireless Telephones For War Ship Fleet to be Installed at Once // New York Herald. Saturday, September 7, 1907. P. 2.
17. Dorrance D. And an angel sang! // Radio guide. Aug. 18, 1939. Vol. 8. No. 44. P. 12, 39, 40.
18. NYC Metro Beat. The End of a Long Journey for a Historic Voice. URL: <http://nycmetrobeat.journalism.cuny.edu/2010/12/06/the-end-of-a-long-journey-for-a-historic-voice/> (дата обращения: 01.09.2021).
19. Carneal George. A Conqueror OF Space. New York. Horace Liveright. 1930. P. 219, 220.
20. La première station d'émission de TSF en France à partir de la tour Eiffel. URL: <https://histoire-image.org/de/etudes/enfance-radio> (дата обращения: 06.07.2021).
21. Wireless telephone // Oxford Leader. 24 April 1908 P.1.
22. “Hello, Paris!” “Hello, New York!” Without Wire Next Year is Definite Promise of the Wizard of Aerial Telephony // Evening World. August 21, 1908. P. 5.
23. Mościcki I. Badania nad wytrzymałością dielektryków // Rozprawy wydziału matematyczno-przyrodniczego Akademii Umiejętności. Kraków, 1904. Seria III, T. 4, dział A, P. 34–53.
24. Mościcki I. Über Hochspannungs-Kondensatoren // Elektrotechnische Zeitschrift. Juni 1904. Jg. 25, Heft 6. S. 527–532. Heft 26. S. 549–554.
25. Hickiewicz J., Rataj P. Działalność ignacego mościckiego w dziedzinie elektrotechniki – w 150 rocznicę jego urodzin // Elektryka. 2017. Zeszyt 1–2 (241–242). Rok LXIII. S. 12.
26. Гулевич Владислав. Снова о прошлом: январское восстание 1863 г. // Международная жизнь. 2013. URL: <https://interaffairs.ru/news/show/9063> (дата обращения: 22.06.2021).
27. Barnard girls test wireless phones // The New York Times. February 26, 1909. P. 7.
28. Douglas Susan J. Inventing American Broadcasting, 1899–1922 (Johns Hopkins Studies in the History of Technology). The Johns Hopkins University Press. 1989. 400 p.

29. Swanson Abbie Fentress. Today in Classical Music History : Opera on the Radio.
URL: <https://www.wqxr.org/story/11575-today-classical-music-history>
(дата обращения: 06.07.2021).
30. De Forest tells of a new wireless // New York Times. February 14, 1909. P. 1.
31. Levine I. E. Electronics Pioneer : Lee De Forest. New York. Julian Messner. 1964. P. 135.
32. Wireless Melody Jarred // The New York Times. Friday. January 14, 1910. P. 2.
33. Ticks for Caruso. Manhattan Beach “Butts In” on Wireless Opera // New-York tribune. January 14, 1910. P. 9.
34. Barnouw Erik. A Tower in Babel. A History of Broadcasting in the United States to 1933. New York. Oxford University Press, 1966. P. 27.
35. Maslen Geoffrey. Magic lamp of radio // New Scientist. August 30, 1973. P. 495–497.

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 621.396(091)

Радиолюбительское движение в Севастополе (исторический аспект)¹

Пузанков Л. А.

*Российский телеграфный клуб
Симферополь, Крым, Российская Федерация
r7ka@mail.ru*

Получено: 20 февраля 2021 г.

Отрецензировано: 9 сентября 2021 г.

Принято к публикации: 16 сентября 2021 г.

Аннотация: *Изложена история радиолюбительского движения в Севастополе в довоенный и послевоенный периоды, развития скоростной радиотелеграфии в Севастополе и Крыму, дано описание жизненного пути чемпиона СССР по радиосвязи на УКВ в 1970-е гг., севастопольца Юлия Евгеньевича Черкасова (1935—2007) и других участников описываемых событий. Статья проиллюстрирована фотографиями участников.*

Ключевые слова: *скоростная радиотелеграфия, Юлий Евгеньевич Черкасов.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пузанков Л. А. Радиолюбительское движение в Севастополе (исторический аспект) // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2021. Т. 4, № 2. С. 147—161.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Пузанков, Л. А. Радиолюбительское движение в Севастополе (исторический аспект) / Л. А. Пузанков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2021. — Т. 4, № 2. — С. 147—161.

¹ Статья является расширенной версией доклада, представленного на 31-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2021 (Севастополь, РФ, 5—11 сентября 2021 г.).

History of amateur radio in Sevastopol

L. A. Puzankov
Russian Telegraph Club
Simferopol, Crimea, Russian Federation
r7ka@mail.ru

Received: February 20, 2021
Peer-reviewed: September 9, 2021
Accepted: September 16, 2021

Abstract: *The history of the amateur radio in Sevastopol in the pre-war and post-war periods, the development of high-speed radiotelegraphy in Sevastopol and the Crimea is presented, a description of the life path of the USSR champion in VHF radio communication in the 1970s, Yuli Evgenievich Cherkasov (1935—2007) and other participants is given. The article is illustrated with photographs of the participants.*

Keywords: *high-speed radiotelegraphy, Yuliy Evgenievich Cherkasov.*

For citation(IEEE): L. A. Puzankov, “History of amateur radio in Sevastopol,” *Info-communications and Radio Technologies*, vol. 4, no. 2, pp. 147–161, 2021. (In Russ.).

1. Введение

С 1898 г. в научно-популярных журналах США и развитых европейских стран начали появляться публикации с техническими описаниями опытов Герца и приборов по эфирной передаче и приему радиотелеграфии, разработанные К. Брауном (1850—1918), А. С. Поповым (1859—1906), Г. Маркони (1874—1937), Н. Тесла (1856—1943).

Первую практическую модель устройства, принимающую электромагнитные колебания из эфира, Александр Степанович Попов сконструировал в 1894 г. В своей практической деятельности он самостоятельно собирал различные конструкции для экспериментов, т. е. занимался радиолюбительством (как толкует словарь русского языка издательства РАН 1999 года: «Радиолюбитель — тот, кто занимается радиотехникой, конструирует и собирает радиоприемники, телевизоры, ведет опыты по радиосвязи и т. п. как любитель...»). Фактически, в своих практических действиях А. С. Попов был первым радиолюбителем. «С позиции современного понимания сути радиолюбительства (по мнению автора статьи [1]) А. С. Попов отвечает самым высоким его требованиям. Определенно можно заявлять, что радиолюбительство началось с первых работ А. С. Попова совместно с П. Н. Рыбкиным (1864—1948) и Д. С. Троицким (1857—1918)».

Коротковолновая любительская радиосвязь в мире стала активно развиваться в начале XX века, практически сразу же после изобретения радио. 18 апреля 1925 г. на заседании организационного конгресса в Париже была учреждена Конституция международного радиолобительского Союза (*IARU — International Amateur Radio Union*). В 2020 г. организации *IARU* исполнилось 95 лет!

В международном «Регламенте радиосвязи» дано четкое определение радиолобительскому движению: «Любительская служба: служба радиосвязи для целей самосовершенствования, взаимной связи и технических исследований, осуществляемая любителями, т. е. лицами, имеющими на это должное разрешение и занимающимися радиотехникой исключительно из личного интереса и без извлечения материальной выгоды».

2. Александр Степанович Попов и Севастополь

В 1877 г. А. С. Попов поступил на физико-математический факультет Петербургского университета. Окончил его с отличием со степенью кандидата наук и стал преподавать в Минном офицерском классе Балтийского флота в Кронштадте. В свободное время, продолжая изучать природу электромагнитных волн, создал прибор для обнаружения и регистрации электрических колебаний (этот прибор демонстрируется в музее Кронштадта). Автору настоящего доклада посчастливилось побывать в Кронштадте и видеть это устройство.

7 мая 1895 г. на заседании Русского физико-химического общества Александр Попов продемонстрировал этот прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний, заявив: «Могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его сможет быть применен к передаче сигналов на расстояние при помощи быстрых электрических колебаний, обладающих достаточной энергией» [2].

19 августа 1899 г. Попов отправился в Севастополь, проводить испытания радиостанций, созданных по его образцам во Франции на фирме инженера Эжена Дюкрете. Вместе с Александром Поповым в Севастополь приехали инженеры Петр Рыбкин, Евгений Колбасьев и солдаты Кронштадтской крепости Назаров и Ермоленко.

Черноморские эксперименты Александра Степановича Попова проводились в Крыму до 3 сентября 1902 года, для чего изобретатель побывал в Севастополе четырежды:

- 19 августа — 10 сентября 1899 г.,
- 22 мая — 4 июля 1901 г.,

— 31 июля — конец августа 1901 г.,

— 22 августа — 3 сентября 1902 г.

«Черноморский флот был основным испытательным полигоном и основным объектом внедрения оборудования для телеграфирования без проводов» [3].

Уже 25 августа 1899 года в Севастополе впервые в мировой истории была установлена радиосвязь между боевыми кораблями. Приемопередающие устройства установили на эскадренных броненосцах «Георгий Победоносец» и «Три Святителя», а передатчик — на минном крейсере «Капитан Сакен». Связь была осуществлена на расстоянии 23 километра. Позже приемные радиоустройства установили на других броненосцах. Еще две радиостанции установили на берегу. Дальность приема радиосигналов увеличилась более чем на 100 километров. Александр Попов подтвердил свои предположения о загоризонтном распространении радиоволн.²

Благодаря Александру Попову в городе Севастополе, в Килен-бухте, появилась и школа радистов. Ее первых инструкторов, а также воспитанников Севастопольской минной школы беспроволочному телеграфированию обучал сам изобретатель.

3. Радилюбительское движение в Севастополе в довоенный период

Как известно, после Великой Октябрьской социалистической революции в нашей стране вопросы радилюбительства впервые прозвучали 9 октября 1921 г. на VIII Всероссийском электротехническом съезде. К этому времени в США уже были узаконены любительские радиостанции «коротковолновиков». В решении съезда было записано: «Признать желательным допустить устройство любительских радиостанций». Датой начала появления в СССР любительской радиосвязи стало 4 июля 1923 г., когда Совет Народных комиссаров (СНК) СССР принял постановление «О радиостанциях специального назначения». В данном постановлении к указанным радиостанциям были причислены «радиостанции любительские». В феврале 1926 г. СНК СССР принял постановление «О радиостанциях частного пользования», что разрешило радилюбителям официально использовать любительские радиопередатчики [4].

Судя по информации из довоенных радилюбительских журналов «Радилюбитель», «Радио всем», «РАДИОфронт», «Радіо», в Крыму было

² Спустя 10 лет расстояние между корреспондентами было уже более полутора тысяч километров — яхта «Штандарт» находилась в Александрии (Египет), а линкор «Пантелеймон» в Севастополе.

достаточно много энтузиастов, увлекающихся радиосвязью. Как отмечено в справочнике [5]: «...1927 г. — начинают организовываться секции коротких волн (СКВ). Сначала в Нижнем Новгороде, затем — в Симферополе, Томске и других городах». В Севастополе после 1928 г. были зарегистрированы следующие радиостанции:

eu5BM — Суржиков,
eu5CJ — Коптев В.И. (г.Севастополь, Очаковская,35-3),
eu5EL — Елков П.Н.,
eu5EM — Карлов П.П.,
eu5FP — Горенштейн Борис Иванович.

Председателем секции коротких волн (СКВ) Севастополя был Георгий Якубович Нагель. К слову сказать, в этот период в Симферополе было всего три индивидуальных радиостанции (eu5AP, eu5CS, eu5DH) и одна радиостанция коллективного пользования — eu5KAT.



Рис. 1. Радиолобитель-наблюдатель Закревский С. А.

Fig. 1. Radio amateur-observer Zakrevsky S. A.

On	Gnt	clg	wtg	QSL	Tone	QRB	QSB	QRM	QRT	W
12/10	23.30	ea	0.5	0.5	12	-	-	-	-	W

Рис. 2. Карточка-квитанция радиолобителя-наблюдателя из Севастополя.

Fig. 2. Radio amateur observer card from Sevastopol

Среди зарегистрированных в Севастополе приемо-передающих любительских радиостанций были и радиолюбители-наблюдатели в числе которых С. А. Закревский (RK-974, рис. 1). На фото радиолюбитель на своем самодельном радиоприемнике ведет наблюдение за работой любительских радиостанций. На стене оформлен стенд с его позывным и карточками, полученными за радионаблюдения. На карточке-квитанции (рис. 2), к сожалению, нет имени радиолюбителя-наблюдателя из Севастополя с позывным RK-2545.

Открытие коллективных радиостанций на первых порах развития радиолюбительства в нашей стране было очень важным фактором. Далеко не все радиолюбители-индивидуалы имели возможности для постройки собственных радиостанций. Именно на коллективных радиостанциях можно было поработать в эфире, пообщаться друг с другом, обсудить вопросы по различным схемам и конструкциям радиопередающих устройств.

О важной роли коллективных радиостанций докладывал Герой Советского Союза Э. Т. Кренкель на совещании старейшин коротковолновиков Москвы в мае 1941 года: «...Мы должны помочь ОСОАВИАХИМу и, прежде всего, начать работать на станциях. Если же почему-то не удастся иметь свою рацию, то надо идти на коллективную радиостанцию, чтобы передать свой опыт молодым товарищам» [4].

С началом Великой Отечественной войны работа на любительских радиостанциях была прекращена. Тысячи коротковолновиков ушли на фронт. Один из организаторов радиосвязи в военные годы генерал-майор В. Иванов позже писал: «Радиолюбители коротковолновики в годы Великой Отечественной войны на фронте, как правило, были лучшими связистами. Их воинское мастерство, находчивость и смелость высоко ценились военным командованием. Когда на фронт прибывало новое пополнение связистов, мы прежде всего интересовались: есть ли среди них радиолюбители? Ведь именно радиолюбители быстро осваивали боевые радиостанции, им доверялось обеспечение самых ответственных связей и, надо сказать, что они оправдывали это доверие» [4].

Исключительно важную роль радиолюбителя описал в своей книге известный советский разведчик Шандор Радо [6]. Нашему разведчику в условиях Второй мировой войны удалось организовать на территории нейтральной Швейцарии группу антифашистов-единомышленников, граждан различных стран, которые через своих помощников в соседних европейских странах, в том числе и в Германии, добывали ценнейшие сведения о планируемых операциях и планах Вермахта на восточном фронте. Для передачи важной и актуальной информации в Центр участники группы

Ш. Радо использовали радиосвязь с конспиративно установленных приемо-передающих радиостанций в разных городах Швейцарии. Радиостанции были изготовлены одним из членов группы — социалистом-антифашистом Эдмондом Хамелем. Это был талантливый радиотехник. Конспиративно достать необходимые радиодетали для передатчиков в условиях войны было нелегким делом.

4. Развитие радиолобительства в Севастополе после войны

После окончания войны в мае 1945 г. накануне Дня Победы в пятидесятилетний юбилей изобретения радио нашим соотечественником А. С. Поповым было опубликовано специальное Постановление Совета Министров СССР, в котором, в частности, говорилось «о важнейшей роли радио, о необходимости популяризации достижений отечественной науки и техники, о необходимости поощрения радиолобительства среди широких слоев населения». В соответствии с этим Постановлением 7 мая стало принято считать Днем Радио. Были также учреждены «Золотая медаль А. С. Попова» и знак «Почетный радист СССР».

Важное для радиолобителей постановление вновь разрешить в стране использование любительских радиостанций было принято Советом Министров СССР 9 марта 1946 г. Коротковолновики стали возвращаться в эфир. В мае 1946 г. был создан боевой штаб радиолобительства — Центральный радиоклуб СССР. Радиоклубы стали создаваться в крупных городах страны. Во многих городах и сельских населенных пунктах открывались самодеятельные радиоклубы.

Радиоклуб был организован и в Севастополе. Он объединил в своих рядах энтузиастов радиотехники. В таких радиоклубах стали работать многочисленные секции по подготовке радистов-операторов, конструкторская секция, секция коротких и ультракоротких волн, секция «охотников на лис». Учитывая важную роль коллективных радиостанций, в городе стали открываться такие радиостанции при институтах, при заводах, при спортивно-технических клубах ДОСААФ. За короткий срок было подготовлено около ста радистов-операторов, операторов для работы на любительских радиостанциях и др. В конструкторской секции стали создавать аппаратуру для любительской радиосвязи.

Коротковолновая любительская радиостанция крымского радиоклуба UA6KSA была введена в эксплуатацию в 1948 г. Уже в 1949 г. радиоклубом были проведены три соревнования коротковолновиков и несколько конкурсов радистов-операторов. Среди участников соревнований были и представители города Севастополя. В 1950 г. в Крымском радиоклубе

при областной станции юных техников были открыты еще одна коллективная радиостанция UA6KSB и две индивидуальные радиостанции. На коллективных радиостанциях работали операторы, имевшие наблюдательские позывные, которые участвовали в различных соревнованиях по установлению радиосвязей и радионаблюдений за различными областями и республиками Советского Союза. Высоких результатов достигли в этом Петр Яхкинд, UA6-16632 (Симферополь) и Михаил Каплан, UA6-16659 (Севастополь).

Если в 1950 году в Крымской области насчитывалось всего шесть любительских коротковолновых радиостанции, то по данным публикуемых Центральным Радиоклубом ДОСААФ СССР «Списков позывных любительских коротковолновых и ультракоротковолновых радиостанций СССР» в 1958 году их насчитывалось уже 21, в 1959 году — 55. В 1962 году в Севастополе было две коллективные радиостанции: UB5KKE и UB5KKL, а также пять индивидуальных KB радиостанций: UB5SU, UB5SW, UB5SY, UB5TH, UB5TJ. Среди радиолюбителей были военнослужащие Краснознаменного Черноморского флота Анатолий Александрович Яковенко, UB5SY и Антон Михайлович Барзолеевский, UB5TH (рис. 3).

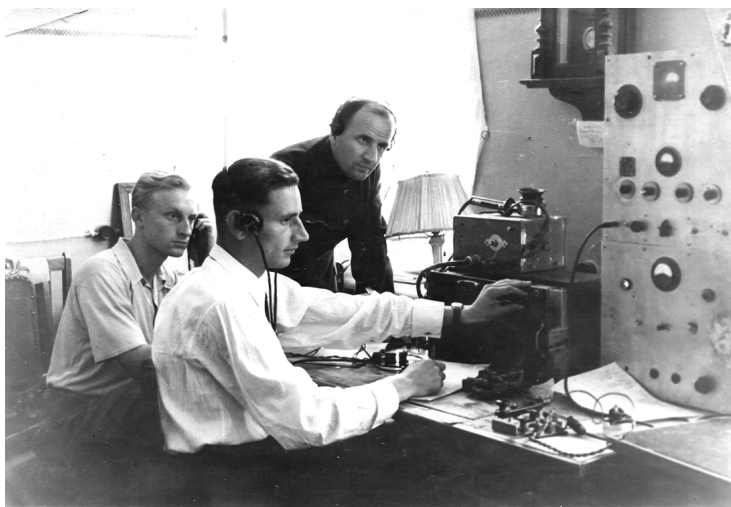


Рис. 3 Антон Барзолеевский проводит радиосвязи в соревнованиях.

Fig. 3. Anton Barzolevsky during radio communication in competitions

Кроме того, в это же время в Севастополе было зарегистрировано шесть УКВ радиостанций: UB5AHА, UB5AHB, UB5AHD, UB5АНК, UB5CDK, UB5CDZ.

С учетом увеличивающегося спортивного аспекта в радиолобительстве в декабре 1959 г. в СССР была создана Федерация радиоспорта (ФРС). Первым председателем Президиума ФРС СССР был избран Герой Советского Союза, легендарный полярный радист Эрнст Теодорович Кренкель, РАЕМ. В начале 1960 г. в Крымском областном радиоклубе состоялась учредительная конференция радиолобителей, на которой председателем Президиума областной федерации радиоспорта был избран Иван Алексеевич Елисеев, участник боевых действий в Великой Отечественной войне, UB5JH. За период его руководства федерацией радиоспорт в Крыму стал массовым. В 21-м (из 22-х) спортивно-технических клубов ДОСААФ Крыма были созданы секции радиоспорта. В крупных городах Крыма (Севастополе, Ялте, Феодосии, Керчи) организованы городские федерации радиоспорта.

С созданием федераций радиоспорта в разных городах Крыма активизировалась спортивная составляющая технических видов спорта. Стали проводиться:

- соревнования по радиосвязи на коротких волнах и УКВ;
- соревнования по «охоте на лис» (современное название «спортивная радиопеленгация» — СРП);
- соревнования по приему и передаче радиোগрамм (современное название «скоростная радиотелеграфия» — СРТ);
- радиомногоборье радистов (включает в себя несколько дисциплин: упражнения, аналогичные СРТ и радиосвязи на КВ, а также обмен радиোগраммами в сети радиостанций и спортивное ориентирование на местности).

В 1961 г. радиоспорт был включен в состав Единой Всесоюзной спортивной классификации (ЕСВК). Победителям в этих технических видах спорта в зависимости от уровня и масштаба соревнований присваивались спортивные звания, а за выполнение определенных нормативов — спортивные разряды.

В 1965 г. во втором этапе Всесоюзной спартакиады по техническим видам спорта победителем соревнований по радиомногоборью стал представитель КЧФ мичман Иван Полунин из Севастополя.

В начале семидесятых годов в Севастополе работало уже пять коллективных радиостанций, в том числе UK5JBK — радиостанция станции юных техников (начальник — Вячеслав Анатольевич Привезенцев, UB5SS) и более двадцати индивидуальных КВ и УКВ радиостанций. На СЮТ проводилась активная работа: курсы радистов-операторов, совершенствование операторского мастерства на коллективной радиостанции,

конструкторская секцию по сборке различных радиоустройств. Многие школьники города впервые познакомились с радиолюбительством, активно участвовали в различных молодежных соревнованиях по радиоспорту.

В общежитии Севастопольского приборостроительного института (в Стрелецкой бухте) была открыта коллективная любительская радиостанция UK5JAO, руководителем которой стал Валерий Владимирович Разумов, UT5LA. Он стал тренировать желающих студентов «охоте на лис», радиомногоборью. В группе «охотников на лис» оказался студент СПИ Николай Викторович Бирюков (рис. 4). За короткий срок Бирюков достиг выдающихся результатов, стал многократным чемпионом Крыма, призером республиканских соревнований и членом сборной Украины; ему было присвоено звание Мастер спорта СССР. Со студенческой скамьи Бирюков занялся конструированием малогабаритной аппаратуры для «охоты на лис» (антенны, приемники, передатчики). В настоящее время многие спортсмены активно пользуются его разработками, не только в России, но и за рубежом. Он является тренером большого числа спортсменов в Крыму, в настоящее время активно участвует в судействе соревнований по спортивной радиопеленгации (СРП) в России, имеет звание судьи первой категории.



Рис. 4. Николай Бирюков на дистанции поиска.

Fig. 4. Nikolay Biryukov at the search distance

Радиоспорт стал активно развиваться и среди личного состава Черноморского флота. В одной из войсковых частей КЧФ в 1970 г. была открыта коллективная любительская радиостанция UK5JAM (начальник — Анатолий Александрович Яковенко).

В среде личного состава КЧФ организовывал тренировки и подготовку спортсменов кандидат в мастера спорта ст. мичман Анучин. Большую работу (тренировки, соревнования) по всем видам радиоспорта проводил также классный специалист связи флота ст. мичман Вячеслав Матвеевич Сашкин, лично участвуя в различных соревнованиях.

При спортивно-техническом клубе (СТК) ДОСААФ заработала еще одна радиостанция коллективного пользования UK5JAC (начальник Тарас Григорьевич Хорошун). Тарас Хорошун сам активно увлекался радиомногоборьем, достиг в этой области высоких результатов, занимая в Крыму на соревнованиях первые места.

Позже в Севастополе был создан Центр технического творчества молодежи (ЦТТМ), в котором радиоспорт был важным направлением. Одним из руководителей Центра стала активная спортсменка, Мастер спорта Украины международного класса по радиоспорту Татьяна Викторовна Костенко, UU3JF.

Если в 1989 г. в Севастополе насчитывалось четыре коллективных радиостанции и 44 индивидуальных, то после реформы позывных в 1994 г. в городе-герое было уже зарегистрировано 9 коллективных радиостанций и 89 индивидуальных. В начале третьего тысячелетия в Крыму зафиксирован рекорд — более тысячи любительских радиостанций. В этом достижении достойный вклад и Севастополя.

5. Скоростная радиотелеграфия (СРТ) в Крыму

В послевоенный период в созданном крымском радиоклубе стали постоянно работать курсы радистов-операторов, на которых проходили переподготовку уволенные в запас военнослужащие, а также гражданские лица, желающие получить профессию радиста-оператора, востребованную в тот период. Курсы работали в дневное и вечернее время. Большая группа радистов после окончания курсов были приняты на работу в службу связи в крымский аэропорт, областную метеостанцию, предприятия управления связи, где в тот период активно использовался радиообмен азбукой Морзе. В радиоклубе стали проводиться областные конкурсы по приему и передаче радиограмм. Практически всегда на конкурсы радистов-операторов приезжали участники из разных городов Крыма: Ялты, Феодосии, Алушты, Севастополя. Среди них были и радисты Краснознаменного Черно-

морского флота (рис. 5). В городе Симферополе стало хорошей традицией, когда задолго до даты конкурсов в технологический перерыв работы вещательной радиостанции РВ-73 и радиотрансляционной сети города с 15:00 до 16:00 стали передаваться контрольные тексты радиogramм по 50 групп азбуки Морзе с различными скоростями от 50 до 130 знаков в минуту. Принятые радистами радиogramмы доставлялись в областной радиоклуб и проверялись судейской коллегией. Для получения зачета по передаче на ключе азбуки Морзе необходимо было прибыть в радиоклуб ДО-СAAF на улицу Севастопольскую, дом 6. Выполнившим нормативы различных разрядов вручались удостоверения и значки.



Рис. 5. Радисты КЧФ Иван Бодня и Михаил Каплан — участники областного конкурса радистов-операторов.

Fig. 5. KChF radio operators Ivan Bodnya and Mikhail Kaplan — participants of the regional competition of radio operators

Многие победители и чемпионы Крыма по приему и передаче радиogramм стали приглашаться на всесоюзные тренировочные сборы. Среди них были радисты КЧФ: Иван Бодня, Михаил Каплан (оба из Севастополя), Владимир Дудочкин (Феодосия). Среди участников сборов были и радистки службы связи симферопольского аэропорта, чемпионы и победители в областных соревнованиях: Анна Лапа, Валентина Зыкова, Людмила Савочка. На фото (рис. 6): радисты-скоростники Украины и Крыма на тренировочных сборах в г. Расторгуево (Московская область) в декабре 1957 г. В центре сидит тренер команды Федор Росляков, слева от него — Валентина

Зыкова, крайний справа — многократный чемпион СССР и Украины Наум Тартаковский; средний ряд: крайний слева — Иван Бодня, крайний справа — Михаил Каплан; верхний ряд: в центре — Владимир Дудочкин.



Рис. 6. Тренировочные сборы скоростников в Расторгуево

Fig. 6. High-speed radiotelegraphy training camp in Rastorguevo

Для справки: Федор Васильевич Росляков (1918—1972) в 1948 г. был победителем Всесоюзных соревнований по приему и передаче радиogramм. За пять лет поднял результат в приеме радиogramм с 320 знаков в минуту до 440 (по PARIS'у), увеличив официальный мировой рекорд американца Мак Элроя на 100 знаков, установленный в 1938 г. С 1956 г. и до конца жизни Федор Росляков был начальником радиостанции Центрального радиоклуба СССР — UA3KAA, UK3A.

Иван Иванович Бодня с 1946 г. служил в Черноморском флоте (Севастополь), с 1947 г. — командир отделения радистов, старшина I статьи, лучший радист соединения, опытный воспитатель подчиненных. В 1956 г. установил рекорд СССР по приему цифровых радиogramм (380 знаков в минуту). За высокие достижения по приему и передаче радиogramм И. И. Бодне первому в Крыму, было присвоено звание «Мастер радиолобительского спорта ДОСААФ» и он был включен в сборную команду СССР. После увольнения из КЧФ в запас Иван Бодня продолжал заниматься любимым увлечением.

6. Юлий Черкасов — чемпион СССР

Следует выделить еще одного представителя города Севастополя — Юлия Евгеньевича Черкасова (23.03.1935—7.10.2007). В конце 50-х гг. Юлий Черкасов приехал вместе с семьей из Киева в Симферополь и начал работать в Крымском радиоклубе в качестве инженера-инструктора. Юлию была присуща изобретательность, настойчивость в достижении намеченных целей. Он обладал глубокими знаниями в области радиоэлектроники, постоянно работал над созданием более совершенных аппаратов для радиоспорта [7]. Ю. Е. Черкасов активно участвовал в различных соревнованиях по радиоспорту в КВ и УКВ диапазонах, где по итогам часто занимал в составе команды Крыма и Украины призовые места. Для очных соревнований в УКВ диапазоне всегда самостоятельно изготавливал уникальную аппаратуру. За разработанные им конструкции на соревнованиях неоднократно получал призы.

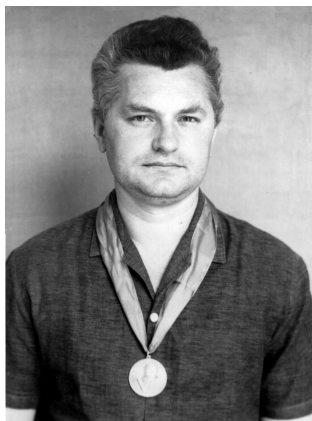


Рис. 7. Чемпион СССР Юлий Черкасов.

Fig. 7. USSR Champion Yuliy Cherkasov

Большой успех в Крым пришел на VII Чемпионате СССР, который проходил в сентябре 1970 г. в рамках пятой Всесоюзной спартакиады по военно-техническим видам спорта, посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Ленина. Чемпионом страны и победителем Спартакиады на УКВ стал мастер спорта СССР Юлий Черкасов (рис. 7), который к этому времени переехал на постоянное место жительства в Севастополь. После длительного перерыва в 1977 г. возобновляется проведение чемпионатов СССР по радиосвязи на УКВ. Абсолютным чемпионом страны на VIII чемпионате СССР становится вновь Юлий Черкасов.

В Севастополе Ю. Е. Черкасов сначала работал в отделении связи Крымэнерго, после окончания Севастопольского приборостроительного института непродолжительно работал в институте, в последние годы был в должности ведущего инженера на предприятии по ремонту и обслуживанию аппаратуры связи КЧФ.

7. Заключение

Во многих видах соревнований по радиоспорту разного уровня активное участие принимали спортсмены города Севастополя, имевшего статус города союзного и республиканского значения. Были отмечены высокие результаты их в радиоконструировании на традиционных радиовыставках областного, республиканского и всесоюзного масштаба, соревнованиях по радиосвязи на коротких волнах и УКВ, соревнованиях по «охоте на лис», радиомногоборью, международных соревнованиях на УКВ «Полевой день», конкурсах радистов-операторов и др. Многие спортсмены за свои достижения удостоивались высоких званий чемпионов, мастеров спорта, кандидатов в мастера спорта и разрядников.

В 2014 г. севастопольские радиоспортсмены после «крымской весны» перешли под эгиду Союза радиолобителей России (СРР) и активно включились в различные соревнования по техническим видам спорта, имея в прошлом высокие достижения и немеркнущие традиции жителей города-героя.

Список литературы

1. Меркулов В. Отдельные эпизоды истории радиолобительства // Радио. 2008. № 4. С. 6—10.
2. Пупкова Н. Если бы не Крым... Мир остался бы без радио, а Европа — без биостанции // Крымская правда. 17 сентября 2013 г.
3. Ермолов П. П., Федотов Е. А. А. С. Попов : крымский аспект. К 150-летию основателя радиотехнологий. Севастополь : Вебер, 2010. 191 с.
4. Пузанков Л. История радиолобительского движения и радиоспорта в Крыму. Симферополь : Форма, 2010. 200 с.
5. Члиянц Г. А. Листая старый «USSR Callbook (1925—1941)». Львов, 2005. 152 с.
6. Радо Ш. Под псевдонимом ДОРА. Москва : Военное изд-во МО СССР. 1973. 320 с.
7. Пузанков Л. Юлий Черкасов — наш чемпион // Радио. 2018. № 12. С. 45—46.

Информация об авторе

Пузанков Леонид Александрович, член Российского телеграфного клуба, Симферополь, Крым, Российская Федерация.

Information about the author

Leonid A. Puzankov, Member of the Russian Telegraph Club, Simferopol, Crimea, Russian Federation.