

ЭПИЗОД ТРЕТИЙ

**ИСТОРИЯ, А КУДА ОТ НЕЁ ДЕНЕШЬСЯ.
(ОТКУДА ПОШЛА ФРЯЗИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА)**

Время неумолимо. Прошёл год, как не стало Валентина Михайловича Пролейко, одного из бывших руководителей электронной промышленности - нач. ГНТУ МЭП.



***Пролейко В.М. (справа) дает пояснения по выставке
Председателю СМ СССР Косыгину (слева, рядом Ми-
нистр ЭП Шокин). 1970-е гг.
(Из семейного архива Пролейко)***

Профессор МХТИ им. Д.И. Менделеева, профессор МАТИ им. К.Э. Циолковского, начальник Главного научно-технического управления МЭП Пролейко был последнее время известен нам как инициатор, ответственный редактор, член редакционного совета «Очерков истории российской электроники». Мне довелось поучаствовать в работе этого совета, а потому я хорошо знаю, что Пролейко всегда подчёркивал: **в нашей стране всего 2 школы Электроники – одна в Питере, другая – во Фрязино.**



Фотография сделана автором в Зеленограде в 2009г. в день 100-летнего юбилея А.И. Шокина. Рядом с В. М. Пролейко (слева) - сын нашего министра – Шокин А.А.

Истоки усилительной электроники

Вопрос усиления как ВЧ, так и НЧ электрического сигнала долго оставался открытым для истории радиотехники. Над проблемой работали ученые разных стран мира, но наиболее ощутимые результаты были получены в Германии, США, Франции и отчасти в России. Ученые этих стран, в конце концов, создали новую, 2-ю после вакуумного диода, электронную лампу (как тогда говорили - катодное реле), которая позволяла не только выпрямлять принимаемый радиосигнал, но и усиливать его.

Первая русская усилительная ТРЕХэлектродная электронная лампа была изготовлена в конце VIII-начале IX.1914г.

Сконструировал лампу **Николай Дмитриевич Папалекси** (1880-1947), будущий академик, а тогда научный консультант лаборатории Русского общества беспроволочных телеграфов и телефонов (РОБТиТ) в Петрограде (на фото 1911 г., Страсбург).



В VII.1914 г., в связи с тревожной обстановкой накануне 1-ой мировой войны, он вернулся на родину из Германии. Там в Страсбургском университете работал под руководством немецкого физика К. Ф. Брауна.

Лампу эту называли «лампа Папалекси» (далее «лампа П») и была она предназначена для усилителей армейского радиотелеграфа. Радиолампы большой мощности имели крупные габариты и предназначались для генерирования, а меньшей мощности и габаритов

использовались в качестве детектора или для усиления электрических колебаний.

Катоды «ламп П» были прямого накала, изготавливались из оксидированной Pt-Ir проволоки, анод и сетка - из Ni. Электроды для ламп поступали в основном из-за границы.

В лаборатории завода РОБТиТ производилась сборка этих электродов на стеклянную ножку, а откачка собранных ламп и их запайка выполнялись на заводе «пустотных аппаратов» Н.А. Федорицкого (Набережная р. Фонтанка, 165).

Так, уже в 1914г. профессором Папалекси были созданы первые генераторные лампы мощностью до 100 Вт. Первая радиоэлектронная связь между Петроградом и Царским селом осу-



ществлена в 1915 г. В устройстве передачи и приёма информации использовались «лампы П».

В Русской армии же электронных ламп не было. «Лампы П» оседали в лабораториях и до армии не доходили. Приобретённые заграничные лампы со сроком службы не более 10 час. стоили до 200 руб. золотом каждая.

Так что, производство электронных ламп пришлось организовать у себя - на Тверской военной радиостанции. Организацию этих работ было поручено подпоручику Бонч-Бруевич. Михаилу Александровичу помогали 2 сотрудника из низших чинов, а после назначения нач. Тверской радиостанции штабс-капитана В.М. Лещинского, и он сам.



Лещинский и Бонч-Бруевич

Первая лампа была газовой и работала при непрерывной откачке, не отделялась от воздушного насоса, колесо которого вертел рядовой Бобков, а Бонч-Бруевич поливал замазку водой. Унтер-офицер Кабошин принимал при этом сигналы радиостанции с Эйфелевой башни.

19.7.1918г. решением Советского правительства в Нижнем Новгороде создана Нижегородская радиолaborатория, нач. которой назначен В.М. Лещинский, а рук. научной части М.А. Бонч-Бруевич. Первоначальной задачей этой лаборатории стала организация отечественного электровакуумного производства для развития радиотелефонии.

Вместе с Лещинским и Бонч-Бруевичем в лабораторию переезжают многие учёные из Москвы, и из Петрограда (ставшие впоследствии членами АН СССР).



В музее Нижегородской радио-лаборатории сохранилась ПЕРВАЯ отечественная вакуумная электронная лампа (её называют «Бабушка» или «катодное реле» конструкции Бонч-Бруевича).

При всем величии подвига первых создателей Отечественных электровакуумных приборов, они не стали основателями Фрязинской «Школы Электроники». Слишком много времени оставалось до её образования.

Создание ОВЛ (Ленинград)

Первый шаг по созданию Ленинградской, а, следовательно, и Фрязинской школ, был сделан в 1925г., когда на территории Электровакуумного завода была организована Центральная радиолaborатория, в состав которой вошли лучшие специалисты того времени (В.П. Вологдин, Д.А. Рожанский, Л.И. Мандельштам, Н.Д. Папалекси, М.А. Бонч-Бруевич и будущие фрязинцы – С.А. Зусмановский, К.Б. Романюк (позже технический директор Фрязинской «Радиолампы»).

Потом в 1928 г. Электровакуумный завод бывшего Общества беспроволочного телеграфа объединили с электроламповым заводом «Светлана». Среди новых специалистов «Светланы» мы находим не только Романюка (технического директора фрязинской «Радиолампы» 1934-1936 гг. и Зусмановского, но и др. будущих фрязинцев: Ю.А. Юношу, организатора метрики во Фрязино, А.В. Красилов – изобретателя отечественного транзистора.



Будущий директор НИИ-160 («Исток») **С.А. Векшинский**, будучи гл. инженером «Светланы», создаёт в рамках объединенной лаборатории исследовательскую лабораторию. Именно там получают работу молодые инженеры – будущие фрязинцы **Ю.А. Юноша, А.В. Красилов**.

В 1934г. заводская лаборатория ленинградской «Светланы» реорганизовывается в **Отраслевую вакуумную лабораторию (ОВЛ)**, прообраз будущих электронных НИИ. Её начальником назначают **С.А. Векшинского** (на фото), будущего первого директора Электровакуумного института во Фрязино (1943-1944 гг.).

Вслед за Векшинским начальником ОВЛ становится Савелий Александрович Зусмановский, будущий зам. по науке в НИИ-160 (Фрязино) в 1943/48 гг.



*Зусмановский С.А.
Фото 1940 г.*

Еще в 30-е гг. у нас в стране были проведены теоретические работы, которые в итоге и позволили к 1940 г. создать отечественные: прямопролетный клистрон, магнетрон, отражательный клистрон. Так у нас появился новый класс электровакуумных приборов - приборы СВЧ с динамическим управлением.

Позже накопленный опыт использования СВЧ-колебаний, а также электровакуумных приборов, кристаллические детекторы и т.п. показали высокую эффективность практического применения в радиоаппаратуре СВЧ-диапазона длин волн.

Почему автор начал разговор о СВЧ-электронике с магнетронов?

Потому что:

1. Это были одни из первых приборов СВЧ с динамическим управлением.

2. Нашу армию в конце войны начали оснащать именно этими отечественными приборами.

3. Для нас особенно важно, что ещё вне Фрязино работы эти вели и будущие фрязинцы: **Н.Д. Девятков, В.Ф. Коваленко, С.А. Зусмановский, В.С. Лукошков** и др. И, конечно, бывшие сотрудники завода «Радиолампа» **Б.М. Царёв, Г.А. Метлин, Н.И. Струтинский, А.А. Сорокин** (так много сделавшие для развития технологии электровакуумного производства)

щедро и с большим успехом передали свой богатый опыт и бесценные технологические навыки «истоковцам».

В то время опыт разработки магнетронов имел только НИИ-9 (так с целью секретности в те годы переименовали Ленинградский физтех). Наибольшее внимание М.А. Бонч-Бруевич, как научный руководитель института, сосредотачивал на разработке оригинальных конструкций магнетронов с различной мощностью, новых типов генераторных и приемных ламп и антенн остронаправленного действия.

На основе опыта с разборными магнетронами в конце 1937 г. Н.Ф. Алексеевым и Д.Е. Маляровым под рук. Бонч-Бруевича было изготовлено несколько экземпляров магнетронов с W-катодом, у которых в анодных блоках имелось 4 резонатора типа щель-отверстие. При работе в непрерывном режиме эти магнетроны отдавали около 120 Вт колебательной мощности с КПД до 22,5%.



Сотрудники НИИ-9: *стоят* Д.Е. Маляров, АЕ. Сузант, В.Н. Мудрин. *Сидят*: М.Л. Слиозберг, Н.Д. Гуревич, Н.Ф. Алексеев.

Аналогичные магнетроны с 4-мя резонаторами были разработаны этими же инженерами на волны: 1; 2,5; 5 и 7,5 см. Таким образом, в 1937–1938 гг. Н.Ф. Алексеев и Д.Е. Маляров

под рук. **М.А. Бонч-Бруевича** создали серию многорезонаторных магнетронов для см-диапазона. Все последующее развитие магнетронов в НИИ-9 велось в направлении совершенствования многорезонаторных систем этих же структур. Однако начавшаяся Великая Отечественная война не позволила развернуть эти работы должным образом.

И всё-таки в стране велись работы по магнетронам и во время войны. Они стали и ощутимее и эффективнее с организацией в 1943г. НИИ-160.

Магнетрон – первый массовый прибор СВЧ

Тогда Электровакуумная промышленность подготовила и начала выпускать многорезонаторные магнетроны для радиолокационных станций во 2-ой половине войны.



Первый такой магнетрон в 10-см диапазоне мощностью 100 кВт по английскому образцу был разработан под рук. **А.П. Федосеева** (на фото 1945 г. в Берлине) и выпускался в большом количестве под маркой МИ-27 для комплектации радиолокационной станции СОН -3К.

При производстве этого магнетрона и в последующих разработках использовались конструкторские и технологические достижения тогдашнего «Истока» - НИИ-

160: синтерированный оксидный катод вместо менее долговечного гладкого, заварка пропусканием переменного тока пром. частоты через угольные накладки, пайка Си выводов со стеклом нагревом токами ВЧ и т.д.

Особую роль сыграл предложенный высококвалифициро-



ванным токарем-механиком **И.А. Белоусовым** (на фото) способ выдавливания резонаторных блоков полированным жестким штампом. Он не только делал блоки более высокой добротности, но практически полностью устранял пробои, что, в свою очередь, повысило мощность магнетрона. Тогда же была разработана и изготовлена контрольно-измерительная техника для испытания магнетронов.

В конце войны вышло постановление правительства, которым поручалось НИИ-160 разработка сверхмощного по тем временам магнетрона 10 см-диапазона на мощность 2 МВт при импульсе в 10 мкс и средней мощности 4 кВт. К нему потребовались: модуляторная лампа мощностью 4 МВт для питания 10 мкс-импульсами; демпфирующий кенотрон на ток 150 А при 10-микс-импульсе; выпрямительный кенотрон для питания модулятора.

Образцов аналогичных приборов не имелось и поставленная задача, по словам А.П. Федосеева, для того времени была совершенно необычной. Трудность решения этой задачи усугублялась необходимостью создавать одновременно с разработкой магнетрона и модуляторной лампы технологические процессы, методы и аппаратуру для измерений и испытаний и даже методы расчета и исследования физических явлений, наблюдавшихся при испытаниях.

Начинать разработку пришлось с исследования явлений, происходящих в пространстве взаимодействия многорезонаторного магнетрона.

Для выяснения явлений между катодом и анодом и их связи с конструкцией и режимом работы использовали метод зонда в катод и соответствующую аппаратуру.

В результате исследований было установлено, что наблюдаемые явления в пространстве взаимодействия соответствуют стоячей, а не бегущей волне распределения ВЧ-потенциалов в анодном блоке; что электронная бомбардировка катода имеет место уже до начала генерации, а распределение пространственного заряда не симметрично и зависит от неоднородностей блока и от фазы ВЧ нагрузки. Были обнаружены неожиданно большие скорости электронов, бомбардирующих катод, а также значительный ионный поток.

Было разработано разборное устройство, на котором исследовано большое число материалов для вторично-эмиттирующего катода магнетрона: Al, Cu, Ni, Fe, различные сплавы. В результате был создан новый, оригинальный тип оксидно-ториевого катода. Такой катод работает без спец. подогревателя на вторично-электронной эмиссии. Необходимость его применения вызвана тем, что ни оксидный, ни даже синтерированный катоды не выдерживали электронной бомбардировки такой мощности.

Н.И. Струтинским, тогда нач. измерительного отдела 120, был разработан новый метод и аппаратура для измерения добротностей этого магнетрона.

Спец. методы и аппаратура были созданы и для измерения параметров 1-го в СССР волноводного вывода энергии, получившие названия метода низкоомной линии и метода симметричного трансформатора. Для него же был изобретен измерительный калориметр, получивший широкое применение по всему Советскому Союзу под названием "Морковка". Исследования распределения ВЧ-полей в блоке магнетрона потребовали тоже созданного специально для этих целей прибора.

Проблема вывода энергии, как потом оказалось, имела 2 неприятных стороны. Первая была самоочевидной – слишком многое терялось в стеклянном выводе. В качестве материала вы-

вода энергии должен быть другой материал, керамика с малыми потерями энергии в диэлектрике. В ту пору аспирант **В.Н. Батыгин** разработал новую керамику на основе окисла Al. Материал оказался очень удачным, с очень низкими ВЧ-потерями.

Проблема, как оказалась потом состояла и в ином. Сам вывод энергии мог иметь резонанс на рабочей частоте магнетрона, а потому вся мощность магнетрона рассеивалась в выводе энергии. Такой нагрузки он не выдерживал и рассыпался на кусочки.

Проблему по просьбе А.П. Федосеева помог решить молодой учёный-теоретик «Истока» **В.П. Сазонов**.

Так были разработаны магнетроны МИ-28, МИ-14 (для станции дальнего обнаружения), серия 2-х МВт магнетронов, 300 кВт магнетрон в 3 см-диапазоне и т.п.. Пожалуй, особняком в этом ряду стоит магнетрон МИ-86 – 4 см-диапазона на мощность 100 кВт, так как при его разработке впервые в стране, а судя по публикациям и в мире, была создана разнорезонаторная система с перестройкой частоты индуктивными штырями.

По постановлению правительства для помехозащищенных судовых станций орудийной наводки был разработан пакетированный 300 кВт магнетрон 3 см-диапазона с разнорезонаторной системой, настраиваемый индуктивными штырями (МИ-99). В нем удалось за счет жидкостной вакуумной смазки (сплав Ga-In-Sn) заметно улучшить тепловой контакт скользящих поверхностей и как следствие в несколько раз уменьшить тепловые уходы частоты и уменьшить мощность механизма настройки. Такой *быстроперестраиваемый* магнетрон был не только 1-ым в СССР, но и в мире. И только несколько лет спустя за рубежом появилась реклама аналогичного магнетрона. Он применялся для передачи команд системе управления нашего спутника Земли.

Всесторонние исследования возможности электронной перестройки импульсных магнетронов позволили создать 2 варианта конструкции (идеи - **А.П. Федосеева** и **М.И. Хворова**) и обе они позволили разработать самовозбуждающийся магне-

тронный генератор. Отличительная черта такого магнетрона в том, что произведение полосы электронной настройки на мощность превышала всё, что было в ту пору известно для резонансных генераторов.

Благодаря этой конструкции, не имеющей аналогов за рубежом, излучающая мощность в импульсе была увеличена до 10 МВт (такой магнетрон использовался в зенитно-ракетном комплексе С-25); и даже 30 МВт (что нашло применение в 1-ой системе противоракетной обороны страны. По утверждению С.И. Реброва именно этой системой ПРО была сбита головка межконтинентальной баллистической ракеты. Подобный эксперимент в США смогли повторить лишь спустя 20 лет.

Одновременно с созданием импульсных магнетронов на «Истоке» под рук. С.А. Зусмановского была создана и освоена в промышленности серия мощных механически перестраиваемых магнетронов непрерывного действия с выходной мощностью в несколько сотен Вт, перекрывавших практически весь см-диапазон длин волн.

Следует особо отметить разработку магнетрона для создания заградительных помех, выполненную в 1948г. **С.А. Зусмановским совместно с И.Е. Роговиным и К.П. Шаховым.** Сущность системы заградительных помех состояла в том, что в.ч. колебания, модулированные шумом, излучаются одновременно в широкой полосе частот. При этом перестройка частоты радиолокационной станции не спасает от помех, если диапазон перестройки ее находится в пределах полосы частот станции помех и если мощность ВЧ-колебаний, модулированных шумом, приходящаяся на полосу в 1 МГц достаточно велика.

В развитие проведенной работы к 1956г. была создана серия из 7-ми магнетронов в 10 см-диапазоне, создающая шумовую полосу частот в сотни МГц. Одновременно в НИИ-108 построили станцию на этих магнетронах.



В 1970-х гг. были заложены научно-технические основы, а затем и разработана серия мощных магнетронов для применения в различных отраслях промышленности и мед. техники. Они перекрывали диапазон мощностей от 200 Вт до 100 кВт в непрерывном режиме и использовались в диапазоне длин волн от 10 до 70 см. Они обеспечивали высокую эксплуатационную надёжность.

Как и всякий краеведческий материал, представленное не претендует на глубину изложения проблемы, на постижение истины в её последней инстанции. Это скорее свидетельство того, что было, точнее, как оно представлялось по логике той былой жизни.

Фрязино, как город, становился и утверждал себя как центр новой промышленности – электроники. Автору хотелось показать, как на «Истоке» решались важнейшие гос. задачи, как слаженная работа всего коллектива позволила «Истоку» стать тем, чем он и стал.



Здесь представлена фотография одного из так называемых «островных» (на волжском острове в пансионате «Электрон») семинаров истоковцев, научно-практических конференций, много десятилетий выполнявших роль научной школы «Исток» и консолидации конструкторов, теоретиков и технологов различных типов приборов.



Главный корпус НПП Исток (фото С.И. Реброва)