

УДК 621.37-621.39(091)

## Генезис аудиона Ли де Фореста

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 создания трехэлектродной лампы с небольшим содержанием газа (аудиона) американским изобретателем Ли де Форестом. 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 (триода) с управляющим электродом.*

**Ключевые слова:** *Ли де Форест, Дж. А. Флеминг, детектор пламени, двухэлектродный аудион, трехэлектродный аудион, триод.*

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):** Пестриков В. М. Генезис аудиона Ли де Фореста // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2021. Т. 4, № 1. С. 42—79.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011):** Пестриков, В. М. Генезис аудиона Ли де Фореста / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2021. — Т. 4, № 1. — С. 42—79.

## The genesis of Lee de Forest audion

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 creation of a three-electrode tube with a low gas content (audion) by the American inventor Lee de Forest is investigated. The flame detectors, which became the prototype of two-electrode and three-electrode audions with low-pressure gas, are considered in detail. Attention is paid to the dispute between J. A. Fleming and Lee de Forest about the priority in the invention of the vacuum diode. The choice of a scientific path in the design of an audion (triode) with a control electrode is shown.*

**Keywords:** *Lee de Forest, J. A. Fleming, flame detector, two-electrode audion, three-electrode audion, triode.*

**For citation (IEEE):** V. M. Pestrikov “The genesis of Lee de Forest audion,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 4, no. 1, pp. 42–79, 2021. (In Russ.).

### 1. Введение

История изобретений во многих случаях связана с притязаниями и встречными исками, и помимо этого украшена легендами. Часто сам изобретатель вносит большой вклад в путаницу изложения событий. Так обстоит дело с термоэмиссионным триодом, который Ли де Форест изобрел в 1906 г. как детектор сигналов беспроводной телеграфии. Триод, трехэлектродная вакуумная лампа, был поистине плодотворным изобретением. Как детектор, усилитель и генератор он стал основой современной радиоэлектроники, а вместе с его производными он доминировал в электронной технологии на протяжении почти 50 лет.

Большая часть того, что было известно об истории изобретения вакуумного триода, исходит от самого де Фореста. Он, вплоть до своей кончины в 1961 г., рассказывал и пересказывал истории о своем изобретении. В своих интервью и воспоминаниях де Форест был больше поэтом, чем инженером или ученым [1–3]. Между его воспоминаниями и действи-

тельной последовательностью событий довольно часто прослеживается лишь поверхностная связь. Если интерпретировать живые рассказы де Фореста в формате реальной истории, то можно приблизиться к воссозданию реалистичного описания его экспериментов и методов научно-технического познания на заре радиосвязи. Среди этих методов, оказывается, много подражания и самообмана, а также проявляется изобретательность, настойчивость и удача.

## 2. Детекторы с открытым нагревом

Вечером 10 сентября 1900 г. Ли де Форест проводил эксперименты с электролитическим детектором беспроводных сигналов при свете горелки Вельсбаха<sup>1</sup> (*Welsbach burner*), рис. 1. Он обратил внимание на то, что свет тускнел и снова становился ярче, когда работал небольшой искровой передатчик. Форест посчитал, что открыл новый детектор беспроводных волн. Эта интерпретация увиденного явления оказалась ошибочной, поскольку хлопки в ладоши производили тот же эффект, показывая, что на пламя воздействовал звук искр, а не электромагнитное излучение.



Рис. 1. Горелка Вельсбаха (патент СН11701А с приоритетом от 21 февраля 1896 г.) и портрет австрийского химика Карла Ауэра фон Вельсбаха на почтовой австрийской марке 2012 г. и австрийской денежной купюре 20 шиллингов 1956 г.

Fig. 1. Welsbach burner (patent СН11701А with priority dated February 21, 1896) and portrait of Austrian chemist Karl Auer von Welsbach on a 2012 Austrian postage stamp and Austrian 20 schilling banknote. 1956

19 сентября 1900 года, то же вечером, были проведены эксперименты по выяснению того факта, каким образом работа индукционной катуш-

<sup>1</sup> В 1885 году австрийский химик Карл Ауэр фон Вельсбах (нем. *Carl Auer von Welsbach*, 01.09.1858—04.08.1929) — изобрел и запатентовал газонакаливаемую сетку, многократно усиливающую светимость газового пламени, использовавшегося тогда для освещения — так называемый «ауэровский колпачок». После этого, он изобрел конструкцию газовой лампы накаливания (1886 г.), которая намного превосходила все другие источники света, известные в то время. Эта лампа была не только намного ярче свечи или сосновой щепы, но и дешевле, чем, например, другие конструкции газовых ламп или электрических угольных ламп накаливания. Таким образом, изобретение Вельсбаха стало коммерческим успехом.

ки влияет на свет, излучаемый горелкой Вельсбаха. В результате регулировки потоков воздуха и газа было получено условие, при котором свет легко реагировал на воздействие искры катушки. Форест доказал, что наблюдаемый необычный эффект является акустическим, а не электрическим. Восторг по поводу этого поразительного открытия пересилил его разочарование. Иллюзия достигла своей цели. Форест пришел к убеждению, что в газах, окружающих раскаленный электрод, присутствуют скрытые силы или нереализованные явления. Это наблюдение подтолкнуло Фореста на путь экспериментов с ионизированными газами, сначала в открытом пламени, а затем в герметичном стеклянном баллоне.

После экспериментов с горелкой Вельсбаха Форест стал искать такую конструкцию детектора для качественного приема радиоволн, за которую ему не пришлось бы платить роялти. С этой целью он провел серию экспериментов и пришел к выводу, что такой детектор должен содержать нагревательный элемент. В этой мысли он еще более укрепился, когда провел эксперименты с бунзеновской горелкой. Эта горелка была изобретена немецким химиком Робертом Вильгельм Бунзеном (нем. *Robert Wilhelm Bunsen*, 31(30).03.1811—16.08.1899) в 1850 г., рис. 2. Ее особенность была в том, что вводя воздух в газ в определенной пропорции перед его возгоранием получается чистое, почти бесцветное пламя без сажи. Горелки, которые разработал Бунзен, были сделаны его лаборантом Питером Десагой (*Peter Desaga*). Бунзен опубликовал конструкцию горелки в 1857 г., но не запатентовал ее. Он не хотел получать прибыль от науки, так как полагал, что интеллектуальных наград имеется более чем достаточно.



Рис. 2. Роберт Бунзен (1850 г.) и его горелка.

Fig. 2. Robert Bunsen (1850) and his burner

Конструктивно горелка Бузена представляет собой вертикальную трубку длиной 13 см, обычно латунную, подсоединенную к источнику газа. В ее основании имеется регулируемое входное отверстие для воздуха, которое позволяет изменять интенсивность пламени. Горелка не коптит, имеет регулировку пламени и способна дать температуру 650°C.

В 1903 году Ли де Форест проводил эксперименты в небольшой лаборатории на улице Темза 11 (*Thames Street*), в нижнем Манхэттене (*lower Manhattan*, район Нью-Йорка) и обнаружил, что детектором могут служить нагретые металлические электроды, расположенные на некотором расстоянии друг от друга. Во время эксперимента, в пламя бунзеновской горелки он поместили два электрода, в качестве которых были использованы медные пластинки. К одному электроду была подключена антенна, а к другому — земля, а параллельно электродам — наушники. В качестве источника радиоволн использовался маломощный искровой передатчик, находившийся в лаборатории. В экспериментах расстояние между отправляющей и принимающей точками не имело значения, так как главным являлось наличие сигнала в пространстве помещения, который способен был принять приемник с детектором пламени. При приеме антенной радиоволн в телефонах появлялся четко выраженный сигнал. В такой необычной схеме нагретые два электрода выполняли функцию детектора. На конструкцию этого радиоприемника Ли де Форест получил патент США US824638 от 26 июня 1906 г., рис. 3. В этом же патенте он привел также схему радиоприемника на двухэлектродном детекторе с нагревом газовой горелкой, который индуктивно связан с антенной и землей [4].

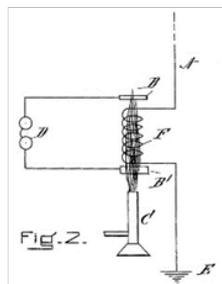
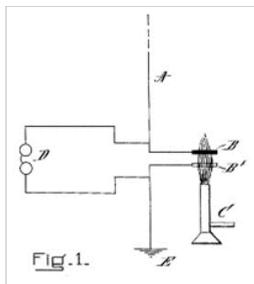


Рис. 3. Ли де Форест (1907 г.) и схемы радиоприемников с двухэлектродным детектором с подогревом газовой горелкой из его патента US824638 с приоритетом от 20 января 1906 г.

Fig. 3. Lee de Forest (1907) and circuits of radio receivers with a two-electrode detector heated by a gas burner from his patent US824638 with application field January 20, 1906

В патенте US824638 Форест указал, что его изобретение относится к устройствам для обнаружения слабых электрических токов или колебаний в целом и особенно таких токов или колебаний, которые происходят в системах приема сигналов беспроводных телеграфов. Целью настоящего изобретения явилась разработка детектора колебаний, который не требует для своей работы отдельной гальванической батареи. В описании патента Форест впер-

ые сформулировал требования к конструкции детектора с источником тепла, который способен реагировать на электрические колебания беспроводной телеграфии. Такой детектор должен иметь два отдельных электрода с чувствительной газопроводящей средой между ними и источник для их нагрева (газовая горелка), причем указанные электроды сконструированы таким образом, что способны создавать электродвижущую силу под действием нагрева. Проводимость указанной среды может изменяться электрическими колебаниями без пропускания через нее регистрируемых колебаний.

Сигналы от антенны изменяли проводимость пламени, которая, в свою очередь, воздействовала на возникающий электрический ток между электродами. Это приводило к появлению слышимого звука в наушниках приемника.



Рис. 4. Принципиальная схема радиоприемника Ли де Фореста с бунзеновской горелкой и гальванической батареей, на который принимались сигналы с кораблей в гавани Нью-Йорка (1893 г.). Карта района Нью-Йорка, показывающая расположение лаборатории Ли де Фореста (1903 г.) и гавани, откуда принимались сигналы беспроводной телеграфии.

Fig. 4. Schematic diagram of the Lee de Forest radio receiver with a Bunsen burner and galvanic batteries, which received signals from ships in the harbor of New York (1893). Map of the New York City area showing the location of Lee de Forest's laboratory (1903) and the harbor from which wireless telegraphy signals were received

В следующем эксперименте (рис. 4) зажигали обычную горелку Бунзена, настраивали ее на интенсивное голубое пламя и помещали в него два электрода из платины. Один электрод размещался в области пламени вблизи его центра, а второй электрод погружался в пламя на небольшую глубину. Электрод, который был помещен в пламя, имел относительно более высокую температуру, по сравнению с другим электродом. К концам электродов подключались последовательно соединенные телефонные наушники, и гальваническая батарея напряжением около 18 В. Сигналы от антенны изменяли проводимость пламени, что, в свою очередь, приводило к изменению протекающего в цепи тока батареи. Ток от гальванической батареи проходил от относительно холодного электрода к более горячему. При тщательной регулировке электродов удавалось услышать очень слабые сигналы, но, тем не менее, это были реальные воспроизведенные сигналы, по-

сланные через комнату. Детектор пламени фактически действовал наподобие реле с беспроводным сигналом, открывающимся для прохождения тока от батареи. Использование Ли де Форестом слова «реле», а не «выпрямитель» имело решающее значение в его будущих юридических битвах.

С помощью детектора пламени де Форест смог принять беспроводные телеграфные сигналы от нескольких кораблей, находившихся в гавани Нью-Йорка. В этом случае к одному из электродов был подключен антенный провод, выходящий из окна к вершине флагштока на крыше, а к другому электроду — провод от заземления, в качестве которого использовался водопровод (рис. 4).

В результате этого эксперимента были получены два важных результата: 1. Доказано, что тепло способствует эффективному обнаружению беспроводных волн. 2. Использование в схеме приемника «вспомогательной батареи» (англ. *booster battery*) или *B*-батареи, термин, который ввел де Форест. Значимость этого компонента трудно переоценить, потому что без этого простого дополнения наш сегодняшний уровень радиотехники и радиоэлектроники был бы невозможен.

Эксперименты Фореста были настолько тщательно продуманными и обширными, что он подал заявку на получение патента — не одного, а 12 патентов! Первые 5 патентов охватывали его эксперименты с открытым газовым пламенем. Нужно, заметить, что полученные патенты имели только научную ценность, так как ни один из них не показал на тот час своей коммерческой ценности. Сомнительно, чтобы какое-либо из запатентованных им устройств было использовано на станциях беспроводной телеграфии *American De Forest Wireless Telegraph Company*, которые устанавливались на востоке и среднем западе США.

Последовательность его патентных заявок показывает, насколько безошибочно он определил направление исследований по использованию тепла в детекторе беспроводной телеграфии. Стремление разработать чувствительный и стабильный детектор стало тем единственным путем, которое привело его к цели. Это очень важный исторический факт.

Работа детектора пламени сразу выявила две очевидные проблемы. Во-первых, влияние воздушных потоков на способность пламени обнаруживать сигналы. Во-вторых, два общих электрода, используемых как для тока антенны, так и для тока батареи, стали причиной появления обходного пути для сигнала вокруг пламени, что привело к снижению чувствительности приемника.

Решение первой проблемы было найдено в защите пламени от воздушных потоков. Вторая проблема была решена путем введения в пламя

четырёх электродов. Одна пара набора электродов использовалась для антенны и заземления, в то время как второй набор использовался для локальной цепи батареи и телефона. Концы электродов были сделаны в виде колец разного диаметра, которые располагались одно поверх другого в виде горизонтальных сечений конуса. Диаметры электродов увеличивались сверху вниз. Каждый кольцевой вывод был плотно окружен пламенем. Путь высокочастотного тока, по мысли Фореста, должен был оставаться отдельным и свободным от пути местного телефонного тока. Схема детектора пламени с разделением радиочастотных и звуковых цепей представлена на рис. 5а. Именно этот эксперимент натолкнул де Фореста на мысль о том, что влияние высокочастотных импульсов исходит эффективнее, если воздействовать на проводящую среду с помощью третьего электрода. Этот третий электрод в дальнейшем получил название «сетка».

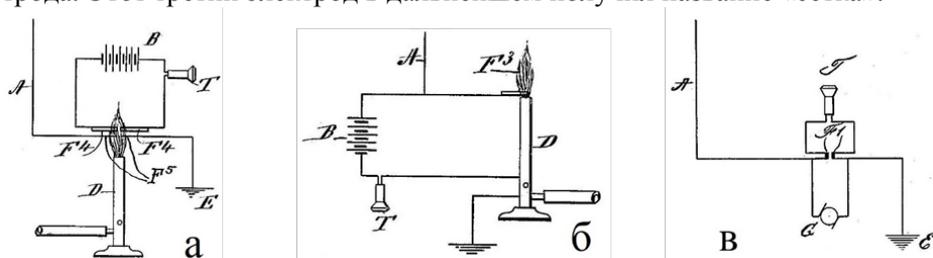


Рис. 5. Конструкции детектора пламени: а — с разделением радиочастотных и звуковых цепей, б — с нагревом одного электрода, в — с электрическим нагревом электродов.

Рисунки из патента Фореста US979275 с приоритетом от 2 февраля 1905 г. [6].

Fig. 5. Designs of the flame detector: a – with separation of radio frequency and sound circuits, b – with heating of one electrode, c – with electric heating of the electrodes.

Drawings from Forest's patent US979275 with priority dated February 2, 1905 [6]

Ли де Форест разработал большое количество конструкций двухэлектродных детекторов с газовой горелкой и детально их изучил [5]. Он исследовал нагреваемые детекторы с металлическими пластинами различного размера при их разнообразном расположении относительно друг друга, как самих пластин, так и пламени горелки. Радиоприемники не имели органа настройки на требуемую частоту и принимали радиосигналы в широком диапазоне радиочастот. Конструкции радиоприемников с нагреваемыми детекторами были далеки от совершенства — это понимал сам изобретатель. Вскоре де Форест установил, что нет нужды нагревать два электрода, достаточно нагревать один, а другой сохранять холодным, рис. 5б [6].

Во время экспериментов с детекторами пламени де Форест столкнулся с рядом непонятных проблем. Хотя он многое выяснил о действии тепла и его относительной важности для обнаружения сигналов беспро-

водной телеграфии, он ранее не заметил, что малейший порыв воздуха может вывести пламя из-под его тонкой настройки, тем самым изменив работу устройства и сделав прием нестабильным. Это наблюдение повергло де Фореста в уныние, поскольку убедило его в том, что какими бы успешными ни были его испытания детектора пламени и какие бы электроды он не использовал, практическое использование такого устройства, например, на борту корабля, невозможно. В этот раз именно дуновение воздуха повернуло все против него. Если в первый раз дуновение воздуха заставило слабо трепетать пламя горелки Вельсбаха и вдохновило де Фореста на эксперименты с детектором пламени, то в этот раз к нему пришло осознание того факта, что он зашел в тупик.

Заявка де Фореста на получение патента США US979275 на детектор пламени была подана 2 февраля 1905 г., причем спецификацию он фактически подписал 4 ноября 1904 г. Другими словами, это произошло за 12 дней до подачи Дж. А. Флемингом 16 ноября 1904 г. заявки на британский патент GB24850 пустотного клапана, и за несколько недель до подачи на то же устройство заявки на соответствующий американский патент US803684 19 апреля 1905 г. Эти даты оказались очень важными, когда де Форест утверждал, что детектор пламени, а не клапан Флеминга, вдохновил его на более позднюю конструкцию «аудиона» (вакуумированный триод с остаточным газом).

### 3. Практическое использование детектора пламени

Детектор пламени де Фореста (рис. 4), вероятно, был самой простой формой позже изобретенного вакуумного детектора или цимоскопа<sup>2</sup>, «клапана Флеминга» и двухэлектродного «Аудиона». Конструкция детектора пламени Фореста (рис. 4 и патент US979275) использовалась в среде любителей беспроводной связи, в частности, американской, вплоть до начала 10-х годов XX века. Любители обнаружили, что лучшая форма цимоскопа пламени — это использование пламени Бунзена, получающееся от сжигания угольного газа и наличие в нем двух электродов определенной формы, рис. 7. Нижний электрод должен представлять собой небольшую платиновую ванну или чашку, а верхний — платиновое острие.

В чашеобразный или нижний электрод помещается определенная щелочная соль, которая располагается в пламени так, что находится в

---

<sup>2</sup> Цимоскоп (англ. *cytoscope*) — любое устройство для определения наличия электрических волн (эл. детектор, индикатор колебаний). Влияние электрических волн на сопротивление определенного типа электрической цепи, на намагничивание стали, на поляризацию электролитической ячейки или на электрическое состояние вакуума применялось в различных цимоскопах.

сравнительно прохладном его месте, но при этом остается достаточно горячей для непрерывного испарения соли. Электрод в виде острия помещен в самую горячую часть пламени и изготовлен из платиновой проволоки диаметром 0,001 дюйма (0,025 мм).

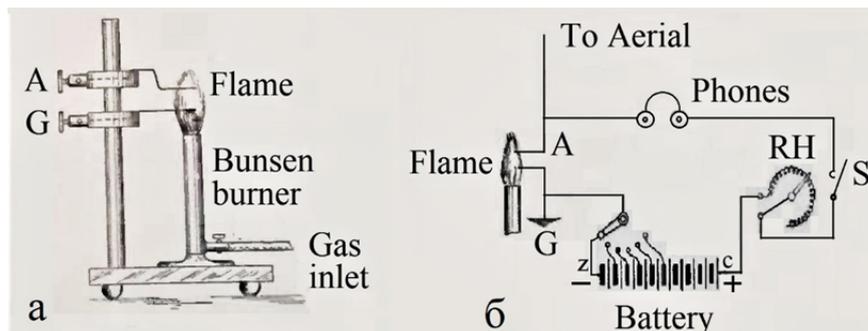


Рис. 6. Практическая конструкция детектора пламени (а), использовавшаяся до начала 10-х гг. XX в. любителями беспроводной телеграфии и принципиальная схема (б) телефонного приемника беспроводной телеграфии на детекторе пламени. 1913 г. [7].  
Fig. 6. A practical design of a flame detector (б), used until the beginning of the 10s of the XX century by amateurs of wireless telegraphy and a schematic diagram (а) of a telephone receiver of wireless telegraphy on a flame detector. 1913 [7]

Расстояние острия от чашеобразного электрода по высоте составляет от 1/8 (3,2 мм) до 3/8 дюйма (9,5 мм). При выборе соли предпочтение было отдано гидроксиду калия. Пламя должно быть хорошо насыщено газом из испаряющейся соли в чашке нижнего электрода.

Принципиальная схема практического телефонного приемника беспроводной телеграфии на детекторе пламени приведена на рис. 6б [7]. В этом цимоскопе гальваническая батарея имеет многопозиционный переключатель для выбора напряжения от 6 до 35 или 40 В с шагом 1 В. Реостат включен последовательно с батареей и обеспечивает очень точное регулирование приложенного напряжения для установки критического или оптимального потенциала, при котором пламя является наиболее чувствительным, четко определенным. В работе [7] отмечено, что «этот детектор при правильной настройке является удивительно чувствительным, но не имеет никакого коммерческого значения по той причине, что пламя не может поддерживаться равномерным, особенно на судах в море, которые постоянно качаются и раскачиваются». Принцип работы этого детектора заключается в разрушении столба проводящего газа входящими волнами Герца, благодаря чему происходит изменение сопротивления проводящего пламени между двумя электродами. Этот эффект приводит к появ-

лению звукового сигнала в телефонных наушниках, имеющих сопротивление от 1000 до 2000 Ом.

#### 4. Диодный аудион-детектор

Исследования Ли де Фореста с детекторами пламени показали, что газовая струя, на которой строится срабатывающее действие такого чувствительного устройства, позволяет обнаружить электромагнитные колебания в пространстве. Однако против практической эффективности такого детектора действует его нестабильность и высокая чувствительность. Это связано с тем, что пламя мгновенно реагирует не только на волны Герца, но и на воздушные потоки. В связи с этим такие детекторы не могут быть использованы в коммерческой беспроводной связи. Эти факты заставили де Фореста переключиться на другой тип теплопроизводящей среды, которая обладает необходимой стабильностью. Он перешел от экспериментов с ионизированными газами в открытом пламени к экспериментам в закрытом стеклянном баллоне и нагреве газа до ионизации с помощью внешней горелки Бунзена или путем пропускания электрического тока через углеродные или танталовые нити. Были опробованы оба метода нагрева. Ли де Форест сразу понял преимущества нагрева нити накала. Воздух внутри оболочки откачивали только до того уровня, при котором нить не окислялась при нагревании. Внутрь оболочки помещали натриевую или калиевую соль для увеличения ионизации. Де Форест утверждал, что это был логический шаг от детектора пламени к детектору в герметичном баллоне, в котором нагретая электричеством нить заменяла пламя Бунзена, а ионизированный газ содержится в стеклянном баллоне. Это несколько надуманное рассуждение имело решающее значение во время судебного процесса о приоритете изобретения де Форестом термоэмиссионной трехэлектродной лампы. Ли де Форест считал, что газы, ионизируемые пламенем, вызывают срабатывание реле (детектора пламени). Пламя само по себе было только механизмом для создания необходимой ионизации газа. Другие средства нагрева газов, достаточные для ионизации, привели бы к такому же действию детектора.

Во второй половине 1905 г. Клиффорд Бэбкок (*Clifford Dudley Babcock*, 09.1893—19??), один из помощников де Фореста, пришел к Генри МакКэндлессу (*McCandless Henry Wallace*, 1866—24.12.1957), владельцу *McCandless Incandescent Lamp Co.*<sup>3</sup>, с грубо изготовленной электрической лампой. Он спросил МакКэндлесса, сможет ли он скопировать этот

---

<sup>3</sup> Н. W. McCandless & Company располагалась в Нью-Йорке (67—69 Park Place, New York City) и занималась производством электрических лампочек накаливания для новогодних елок.

образец и сделать 6 копий. Образец имел плоский анод, нить накала и был безцокольный. Можно предположить, что это был клапан Флеминга, так как других вакуумных двухэлектродных ламп в то время не было. Бэбкок рассказал о работе де Фореста над детектором беспроводного телеграфа и о том, что он уже опробовал экспериментальную форму детектора с использованием газового пламени и теперь хочет вместо него использовать для создания теплового потока электрическую нить накала в стеклянном баллоне. Два дня спустя Бэбкок вернулся и привел с собой де Фореста, чтобы обсудить конструкцию лампы [8]. Для выполнения заказа Бэбкока, МакКэндлесс разобрал образец на части и к концу 1905 года сделал с него требуемое количество копий двухэлектродной лампы [9]. Лампы имели углеродную нить накала на 4 В и винтовой цоколь E12 Edison. Контактный вывод от никелевого анода выходил из стеклянной колбы в нескольких миллиметрах от вершины стеклянной колбы, рис. 7. На рис. 7 также представлены некоторые образцы коммерческих клапанов Флеминга, которые производила в тот период времени компания Marconi. Учитывая тот факт, что де Форест внимательно следил за научными исследованиями в области беспроводной телеграфии, то не исключено, что конструкции этих вакуумных клапанов были ему известны.



Рис. 7. Клапан Флеминга, изготовленный для Клиффорда Бэбкока компанией *McCandless & Company* во второй половине 1905 г. [9] (слева) и четыре коммерческих образца клапана Флеминга производства компании *Marconi* [10].

Fig. 7. Fleming valve made for C. D. Babcock by *McCandless & Company* in latter part of 1905 [9] (left) and four commercial samples of Fleming valves manufactured by *Marconi Company* [10]

С 1905 г. МакКэндлесс стал ключевым звеном в истории электронных ламп, когда он начал выполнять заказы по их изготовлению для де Фореста. С 1910 по 1915 гг. МакКэндлесс производил все вакуумные лампы DeForest Audion. МакКэндлесс, который специализировался на производстве нестандартных ламп в небольших объемах, хорошо подходил для задачи производства аудионов.

В то время как первый заказ был дублированием, последующие заказы были уже на лампочки, которые изготовлялись по очень несовершенным эскизам Бэбкока или де Фореста. По сути, это были двухэлектродные устройства (нить накала и анод). У них вывод к аноду выводился через стенку стеклянной колбы, но иногда его делали вверху или сбоку.

После длительной серии испытаний Ли де Форестом было установлено, что горячая нить накала испускает поток ионов, который переносит ток от нити к аноду. Этот поток в точности аналогичен потоку в газовом пламени, но долгое время считалось, что его нельзя использовать в качестве почти идеального детектора волн. На основании этого была разработана двухэлектродная лампа под названием «аудион». Удивительно, что де Форест, знакомый с работами по термоэлектронной эмиссии, трактовал ее как поток ионов, а не электронов.

В течение первой половины 1906 г. Ли де Форест зарегистрировал несколько патентов на конструкцию двухэлектродного детектора в герметичном стеклянном баллоне под названием «Устройство регистрации колебаний» (англ. *Oscillation responsive device*), рис. 8 [11]. Однако чаще де Форест называл это устройство «аудион», хотя на данный момент это была электронная лампа с двумя электродами, а не та лампа, которая вскоре появилась с тремя электродами и получила такое же название. Патенты на эти аудионы были получены в том же 1906 г. Первоначально оба электрода в аудионе де Фореста были нитевидными, рис. 8а и 8б. Две нити, нагретые от отдельных батарей, одинаково хорошо производили желаемый детекторный эффект. Вскоре он устранил необходимость в одной батарее, заменив одну из нитей ненагреваемым пластинчатым электродом (холодный электрод), рис. 8в. Конструкция этой лампы вошла в два патента де Фореста: US824637 и US836070. Патент US836070 был отдельно ранее получен с приоритетом от 19 мая 1906 г.

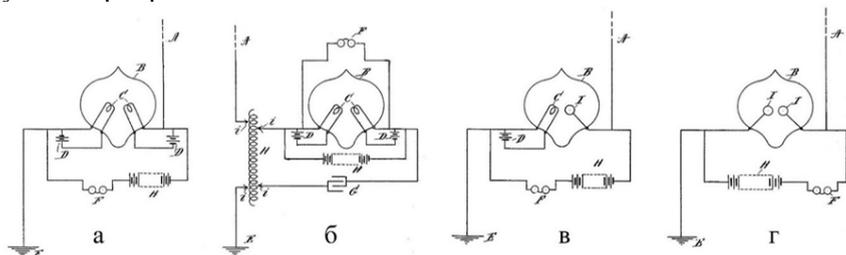


Рис. 8. Принципиальные схемы слуховых радиоприемников на двухэлектродной электронной лампе с анодным напряжением. Рисунки из патента Ли де Фореста US824637 с приоритетом от 18 января 1906 г. [11].

Fig. 8. Schematic diagrams of auditory radio receivers on a two-electrode electron tube with anode voltage. Drawings from Lee de Forest's patent US824637 with priority dated January 18, 1906 [11]

В дальнейших экспериментах он стал использовать конструкцию лампы с одним электродом в виде пластины (холодный анод) и электрической нитью накала, которая заменила второй электрод-пластину в предыдущих экспериментах. Вся конструкция помещалась в стеклянный баллон с невысоким вакуумом. Воздух внутри баллона откачивался только до точки, в которой нить не окислялась при нагревании. Внутрь стеклянной оболочки помещали натриевую или калиевую соль для увеличения ионизации.

Ли де Форест обнаружил, что полярность батареи «Н» в цепи (показанной на рис. 8в) заметно влияет на работу детектора. Из этого стало ясно, что эффект Эдисона (термоэлектронная эмиссия) участвует в работе аудиона. До этого де Форест был убежден, что ионизированные газы в стеклянном баллоне лампы ответственны за процессы, происходящие в ней. Эту конструкцию детектора с одной нитью накала де Форест так же назвал «аудионом». Она превосходила в работе все подобные устройства, с которыми он экспериментировал ранее.

## 5. Спор Дж. А. Флеминга с Ли де Форестом

Главное отличие двухэлектродного аудиона (патенты US824637 и US836070) от клапана Флеминга заключалось в том, что двухэлектродная лампа Фореста изначально предназначалась для создания приемного устройства сигналов беспроводного телеграфа на слух (наушники), рис. 9. Из стеклянного баллона аудиона газ был откачан лишь частично, де Форест ошибочно считал, что остаточный газ в баллоне необходим для работы устройства и целью нити накала было не испускание электронов, а нагрев газа для ионизации. Для усиления звука в схему была добавлена анодная батарея, которая в дальнейшем стала обозначаться как батарея «В». Отметим, что Дж. А. Флеминг тоже предложил схему слухового радиоприемника, но с вакуумным диодом и анодным питанием и получил на нее патент GB190813518A с приоритетом от 25 июня 1908 г., однако это произошло на 2 года позже после появления подобного изобретения американским радиотехником Ли де Форестом.

Дж. А. Флеминг на базе своего клапана разработал прибор «волномер», показания которого можно было наблюдать визуально на шкале гальванометра. Все это нашло отражение в названии полученных Флемингом британских и американских патентов:

— британский патент GB24850 «*Improvements in Instruments for Detecting and Measuring Alternating Electric Currents*» (Усовершенствование в устройствах для обнаружения и измерения переменных электрических токов) с приоритетом от 16 ноября 1904 г.;

- американский патент US803684 «*Instrument for converting alternating electric currents into continuous currents*» (Прибор для преобразования переменного электрического тока в постоянный) с приоритетом от 19 апреля 1905 г.

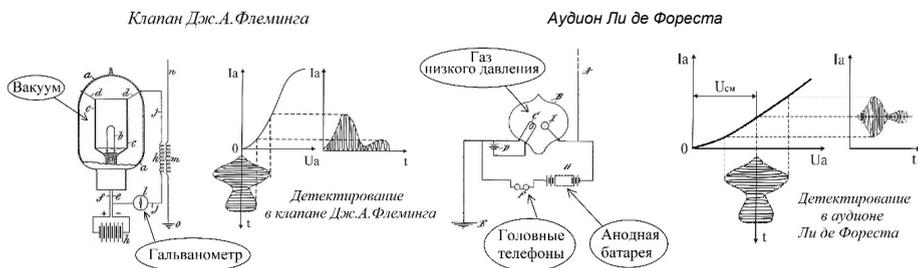


Рис. 9. Отличия аудиона Ли де Фореста от клапана Дж. А. Флеминга.

Fig. 9. Differences between Lee de Forest's audion and J.A. Fleming's valve

В патенте US836070 Ли де Форест, вероятно, чтобы отмежеваться от клапана Флеминга, указывает, что для работы двухэлектродного аудиона необходимо, чтобы внутри его баллона находился газ низкого давления. Это особо подчеркивается в восьми пунктах формулы изобретения. В качестве газа могут быть пары ртути, воздух и другие газообразные вещества.

Сегодня схема Де Фореста была бы классифицирована как «термоэмиссионный диодный выпрямитель с прямым смещением» [12]. На графиках рис. 9 представлен процесс обнаружения радиоволн клапаном Флеминга и аудионом Фореста. Кривая зависимости  $I_a = f(U_a)$  показывает, как входное напряжение  $U_a$  связано с величиной выходного тока  $I_a$ . В клапане Флеминга только положительная половина каждой волны, приложенной к аноду, производит выходной ток, который затем «усредняется» механической инерцией диафрагмы или стрелкой измерительного прибора. В диоде Де Фореста «напряжение прямого смещения» сохраняет анод всегда положительным, но при этом асимметричное соотношение между входным напряжением и выходным током вносит искажения в выходной сигнал при усреднении обнаруживаемого сигнала.

Тот факт, что двухэлектродный аудион де Фореста был практически идентичен запатентованному пустотному клапану Флеминга, отметил даже сам Дж. А. Флеминг и патентные поверенные компании, которых наняла Marconi Company для разбирательства. К концу своей жизни де Форест утверждал, что устройство аудиона из двух электродов было логическим решением исключить из него газовое пламя и на это решение конструкция клапана Флеминга никак не повлияла. Ли де Форест, столкнувшись с обвинениями в том, что он скопировал не только вентиль Флемин-

га, но и еще ранее — электролитический детектор Фессендена, встал на защиту своего изобретения и своей репутации. Он отвечал на обвинения, настаивая на том, что диод аудион и клапан Флеминга имеют структурные различия и функционируют по-разному. Ли де Форест отрицал схожесть конструкций, даже зная, что пустотный клапан был изобретен раньше диода аудиона. Однако историки науки техники приводят весомые доказательства того, что Ли де Форест все же скопировал конструкцию пустотного клапана и проводил с ним эксперименты [9, с. 18].

Рассматривая патент (рис. 8в) де Фореста, можно предположить, что беспроводной сигнал от антенны к земле через диод может изменить условия внутри лампы и таким образом вызвать значительный ток от батареи через диод и телефон. Из анализа следует, что этого не происходит, и что устройство является чисто выпрямительным. Батарея только поддерживает напряжение смещения на пластине, переключая действие диода с выпрямления односторонней проводимости на выпрямление из-за кривизны характеристики. Отклик на положительные части сигнала больше, чем при нулевом смещении, что частично компенсируется обратным откликом на отрицательные части.

Дело в том, что термоэмиссионный диод обычно лучше всего обнаруживает небольшие сигналы, когда он не имеет смещения или даже при небольшом отрицательном смещении. Флеминг выбрал последнее условие, подключив свой пластинчатый электрод к отрицательной стороне нити накала. Более того, во всех простых выпрямительных детекторах, независимо от того, снабжены ли они прямым или обратным смещением, или вообще не имеют смещения, вся мощность сигнала, достигающая телефона или другого индикатора, поступает от входного сигнала с антенны. Таким образом, термоэлектронный диод с прямым смещением не имел практической ценности, и он никогда не использовался в коммерческих целях. Однако это имело историческое значение, несмотря на ошибочность рассуждений де Фореста.

## 6. Женитьба Ли де Фореста

Первая половина 1906 г. в жизни де Фореста ознаменовалась не только новыми исследованиями и разработкой чувствительного герметичного детектора с подогревом, но и событиями в личной жизни. В этот период времени Ли де Форест, помимо экспериментов, занимался устройством своей личной жизни. У него была ученица Люсиль Шеардаун (*Lucille Sheardown*), которую он обучал азбуке Морзе. Познакомились они

в октябре 1905 г. Люсиль получила образование во Франции и Швейцарии, а также говорила на пяти языках и, что удивительно, проявляла интерес к беспроводной телеграфии.

Все ухаживание пары, как сказал сам доктор де Форест, продвигалось с скоростью беспроводной телеграфии. Влюбленные жили на разных улицах Нью-Йорка. Дом Ли де Фореста находился на 315 *West 97<sup>th</sup> Street*, а Люсиль Шеардаун — на 560 *West End Avenue*. Расстояние между ними составляло около 900 м. Чтобы быть ближе к любимой, Ли де Форест для общения установил у себя дома и в ее будуаре систему беспроводного телеграфа.

После четырех месяцев ухаживания в дело вступил беспроводный телеграф. Доктор де Форест позвонил своей возлюбленной и сказал, что хочет сообщить ей нечто очень важное. У него предполагалась командировка в Европу, в которую не хотел ехать один. Отплытие было назначено на следующую субботу. Он спросил: «Ты можешь выйти сразу за меня замуж и поехать со мной в Европу?». Мисс Шеардаун, конечно, была ошеломлена — это было так неожиданно! Был достигнут компромисс, что, если де Форест отплывет через неделю, то он возьмет с собой невесту. Влюбленные достигли согласия благодаря беспроводному телеграфу. «Это правда, что у нас были свои правила», — сказала сегодня невеста, — «и мы часто разговаривали друг с другом. За мной действительно ухаживал беспроводный телеграф» [13].

О бракосочетании сообщила газета «*New York World*» от 17 февраля 1906 г. в статье под заголовком «Беспроводное ухаживание окончилось свадьбой», рис. 10 [13]. Жениху было 33 года, невесте — 24 года.

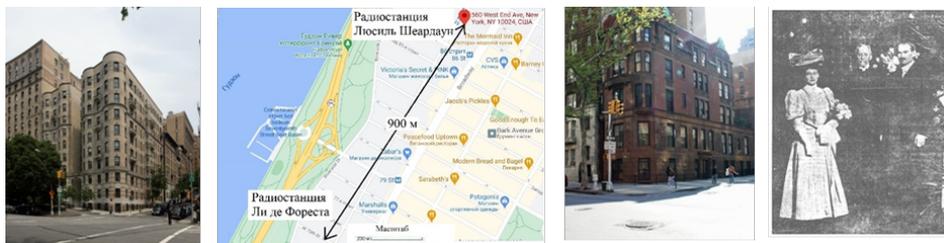


Рис. 10. Дом Ли де Фореста (слева) на 315 *West 97<sup>th</sup> Street*, карта с указанием расстояния между домами влюбленных, дом Люсиль Шеардаун (посередине) на 560 *West End Avenue*. Свадебная церемония Ли де Фореста и Люсиль Шеардаун.

17 февраля 1906 г. Нью-Йорк [13].

Fig. 10. Lee de Forest's home (left) at 315 *West 97<sup>th</sup> Street*, map showing the distance between the lovers' homes, Lucille Sheardown's home (in the middle) at 560 *West End Avenue*. The wedding ceremony of Lee de Forest and Lucille Sheardown. February 17, 1906. New York [13]

Церемония бракосочетания состоялась в зале *Louis Seize* отеля «*St. Regis*» в 9:30 в субботу 17 февраля 1906 г. Преподобный доктор Альфред Э. Мейерс (*Alfred E. Meyers*) из Мраморной коллегияльной церкви (*Marble Collegiate Church*) совершил богослужение. Присутствовали только родственники семьи. На красивой молодой невесте было свадебное платье (*going-away gown*), дорожный костюм в серую клетку, с плетеной юбкой и итонским жакетом (*Eton jacket*). Маленькая серая французская шляпка, отделанная затененными розовыми розами, тонкая талия с ручной вышивкой и длинные перчатки завершали наряд. Единственным украшением, которое она носила, была большая бриллиантовая булавка-подарок жениха. Невеста держала в руках букет роз.

На свадьбе помимо матери невесты и матери жениха были Чарльз де Форест, президент американской компании *De Forest Telegraph Company* Авраам Уайт, миссис Уайт и г-н Эдвард Хаммерсли (*Edward Hammersley*).

Медовый месяц молодая пара провела в поездке в Англию на борту лайнера *Lucania*. В Англии их пребывание было не очень веселым. Из-за психологической несовместимости они постоянно сорились и воевали между собой. По прибытию в США Ли де Форест нашел утешение с женщиной по имени Анна, а Люсиль начала тайно встречаться с богатым человеком по имени де Витт Клинтон Фланаган (*DeWitt Clinton Flanagan*). Де Форест почувствовав измену супруги, нанял частного детектива, который и установил существование Фланагана. Де Форест в октябре подал на развод, а в декабре 1906 г. он уже был свободен [14]. Его первый брак с Люсиль *Sheardown* продлился всего несколько месяцев.

## 7. Эксперименты продолжаютя

Последняя четверть 1906 г. принесла Форесту массу неприятностей, к краху семейного счастья добавился разрыв в ноябре контракта с компанией *American De Forest Wireless Telegraph*. Опять де Форест оказался в житейской ситуации, когда нет средств и необходимо полагаться на собственные силы. Анализируя ситуацию, он пришел к выводу, что его новое и более светлое будущее лежит в области беспроводной телефонии, а не в телеграфии. В этот период времени датский инженер Вальдемар Паульсен сконструировал дуговой передатчик незатухающих электромагнитных колебаний для передачи голосовых сигналов.

В конце 1906 г. де Форест смог спроектировать и сконструировать свой первый примитивный телефонный передатчик на угольной дуге с микрофоном, способный транслировать человеческую речь. Используя

этот «безыскровый» передатчик, де Форест впервые передал речь 31 декабря 1906 г. в пределах лабораторной комнаты в Паркер-билдинг (англ. *Parker Building, 19<sup>th</sup> Street and 4<sup>th</sup> Avenue, Manhattan*). В этом эксперименте принимал участие его первый лаборант, шестнадцатилетний школьник Джон Хоган-младший<sup>4</sup>, который в телефонной трубке аудионного приемника услышал слова, сказанные Форестом в микрофон дугового передатчика. Эта конструкция телефонного дугового передатчика использовалась Форестом до 1912 г. [1, с. 221]. Позже на эту конструкцию передатчика Форест получил патент US1123118 (рис. 11 [15]). Разработанный передатчик стал важной составной частью беспроводной телефонной системы де Фореста, однако в ее приемной части не доставало такого детектора, конструкция которого бы не нарушала чьих-то авторских прав.

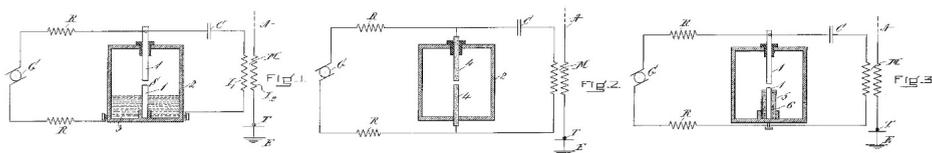


Рис. 11. Принципиальные схемы дуговых передатчиков голосовых сигналов конструкции де Фореста. На схемах микрофон Т включен в антенную катушку М. Патент US1123118 с приоритетом от 8 июля 1907 г. [15].

Fig. 11. Schematic diagrams of arc transmitters of voice signals designed by de Forest. In the diagrams, the microphone T is included in the antenna coil M. Patent US1123118 with priority dated July 8, 1907 [15]

Ли де Форест, невзирая на неудачи в личной жизни, продолжал работать над поиском конструкции чувствительного детектора. Результаты его экспериментов с детекторами пламени стали основой для проведения серии испытаний ламповых детекторов с электрической нитью накала в той же последовательности, что и с пламенем. Это заняло больше времени, чем эксперименты с детекторами пламени, однако это дало возможность оценить два устройства путем их сравнения. Такой подход в дальнейшем позволил Форесту утвердиться в мысли, что нет ничего более удобного, практичного и многообещающего, чем электрическая лампа накаливания.

<sup>4</sup> Джон Хоган-младший (*John Vincent Lawless Hogan Jr.*, 14.2.1890—29.12.1960) будучи школьником построил свою первую любительскую беспроводную станцию в 1902 г. С 1906 по 1907 гг. работал у Ли де Фореста в качестве лаборанта. Впоследствии он стал известным радиотехником и одним из основателей *IRE*, а потом его и президентом (1920 г.). Он получил 34 патента. Наиболее известной его разработкой является детекторный гетеродинный радиоприемник (1913 г.). Владелец коммерческой радиостанции *WQXR* в Нью-Йорке (1928—1944). Радиостанция вещала в 1929—1934 гг. на частоте 2100 кГц (142,7 м), а в 1934—1941 гг. на частоте 1550 кГц (193,4 м).

Перед тем как начать эксперименты, необходимо было решить, с каким питающим напряжением выбрать лампы, а также определиться с количеством и типом используемых в них электродов. Для экспериментов оказались наиболее подходящими лампы с маленьким цоколем-канделябром и низким напряжением, которые предназначались для елочных гирлянд. Этот тип ламп был приобретен у *McCandless Incandescent Lamp Co.* Однако покупка всего 2—3 образцов электрических ламп, которые, возможно, перегорели бы через нескольких минут после испытаний, представляла собой реальную финансовую проблему. Генри МакКэндлессу потребовалось необычное умение, чтобы сконструировать различные электроды и затем откачать лампу ручным насосом перед герметизацией, рис. 12.



Рис. 12. Генри МакКэндлесс — президент H. W. McCandless Co., завод компании H. W. McCandless Co. (Нью-Йорк), продукция завода — электрические лампы [8] и встреча Ли де Фореста с Генри МакКэндлессом (1949 г.).

Fig. 12. Henry McCandless – President of H. W. McCandless Co., a H. W. McCandless Co. (New York), plant products – electric lamps [8] and Lee de Forest's meeting with Henry McCandless (1949)

Компании МакКэндлесса после нескольких неудач удалось изготовить первую двухэлектродную лампу согласно патентам US836070 [16] и US824637 [17], рис. 8в. Затем были изготовлены лампы с учетом проведенных экспериментов с детекторами пламени. Результаты экспериментов с этими лампами оказались неоднозначными. После этого последовал тест с горизонтально расположенной лампой с жидким анодом (небольшая емкость с ртутью), рис. 13а [18]. В тексте патента US837901 де Форест отметил: «Я сделал еще одно открытие, что чувствительность детектора колебаний, содержащего два электрода, разделенных чувствительной газовой средой, может изменяться, например, под действием магнитного поля, при этом его чувствительность зависит от частоты электрических колебаний, воздействующих на него... Изменяя положение и силу магнитного поля Н, можно производить регулировку чувствительности детектора по отношению к частоте принимаемых волн, а выбор волн желаемой частоты позволяет его использовать в качестве устройства настройки» [18].

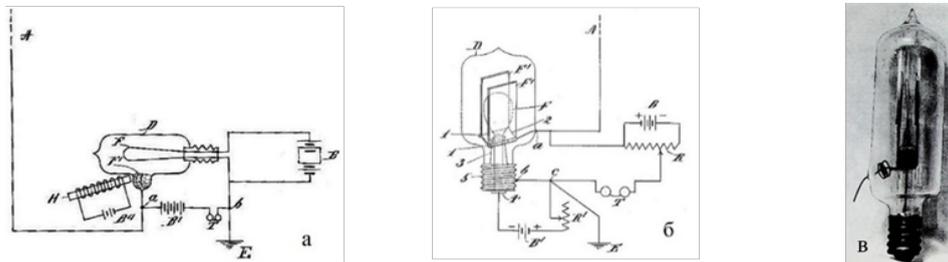


Рис. 13. Принципиальные схемы слуховых радиоприемников Ли де Фореста: а — с регулировкой чувствительности магнитным полем (патент US837901 с приоритетом от 14 февраля 1906 г.) [18], б — на двухэлектродной лампе «Audion» с двумя анодами (патент US841386 с приоритетом от 27 августа 1906 г.), в — двухэлектродный аудион, изготовленный компанией де Фореста для военно-морского флота США (сентябрь 1906 г.) [9, с. 64].

Fig. 13. Schematic diagrams of Lee de Forest's auditory radio receivers: a – with sensitivity adjustment by a magnetic field (patent US837901 with priority dated February 14, 1906) [18], b – on a two-electrode Audion tube with two anodes (patent US841386 with priority dated August 27, 1906), в – two-electrode audion manufactured by the de Forest company for the US Navy (September 1906) [9, p. 64]

Особенно важным оказался эксперимент с лампой, содержащей два анода  $F'$  и  $F''$ , между которыми находилась нить накала  $F$ , рис. 13б. Этот оригинальный усилитель содержит анодную батарею  $B$ , которую в этой схеме можно рассматривать как своеобразную «С-батарею смещения», которая создает определенный электрический потенциал на аноде как на управляющем электроде. Это позволяет сделать вывод о том, что мысль об «отрицательном смещении на сетке» возникла у де Фореста раньше того момента времени, когда она посетила Левенштейна и зафиксировалась в его патенте.

В сентябре 1906 г. де Форест сделал свою первую продажу электронных ламп в рамках правительственного заказа для военно-морского флота Соединенных Штатов в виде полного приемного комплекта, оснащенного аудион-детекторами (рис. 13б, в) с канделябрным цоколем. Однако они были двухэлементного типа, только с пластиной и нитью накала. Эти, как и последующие конструкции, но уже трехэлектродные лампы, носили название «аудион».

Ли де Форест был убежден, что чувствительность его аудиона (рис. 13б) как детектора можно сделать еще больше. Помня об отдельной локальной цепи, внесенной в его детектор пламени, он решил установить дополнительную пластину, внешнюю по отношению к стеклянной оболочке. Для этого он наклеил полоску оловянной фольги (7) на стекло снаружи лампы (рис. 14а) [19]. Этот дополнительный электрод не оказал су-

ществленного влияния на чувствительность устройства. Тогда Форест осторожно лезвием разрезал приклеенную фольгу в виде длинной спирали, похожей на пружину. В результате вместо плоской металлической пластины получилась плоская катушка индуктивности, рис. 14б.

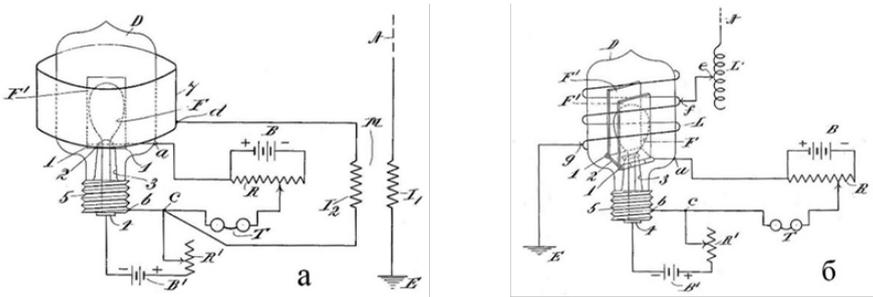


Рис. 14. Аудион с внешним электростатическим контролем на стекле снаружи баллона D: а — пластина 7, б — плоская катушка индуктивности L. Рисунки из патента Ли де Фореста US841386 с приоритетом от 27 августа 1906 г. [19].

Fig. 14. Audion with external electrostatic control on the glass outside the cylinder D: а – plate 7, б – flat inductor L. Drawings from Lee de Forest's patent US841386 with priority dated August 27, 1906 [19]

После подключения к катушке  $L$  (рис.14б) заземления  $E$  и отвода  $f$  от антенной катушки  $L'$  были получены поразительные результаты, более громкий звук в наушниках  $T$ , чем в ранее трестировавшихся аудионах. В этом приемнике для питания нити накала использовалась 6-вольтовая аккумуляторная батарея  $B'$  с переменным сопротивлением  $R'$ . Величина анодного напряжения была установлена на уровне  $22\frac{1}{2}$  В с помощью потенциометра  $R$ . Эти значения величин напряжений для нити накала и анода в дальнейшем были приняты в качестве стандартов и использовались в будущих радиосхемах в течение многих лет.

## 8. Дискуссия в Американском институте инженеров-электриков

26 октября 1906 г. на 210-м заседании Американского института инженеров-электриков (*American Institute of Electrical Engineers*, или сокращенно АИЕЕ) в Нью-Йорке де Форест представил результаты своих разработок по двухэлектродным аудионам под названием «Аудион. Новый приемник для беспроводной телеграфии» (*The audion. A new receiver for wireless telegraphy*) [20]. Обзор, сделанный де Форестом, включал множество впечатляющих диаграмм, а также подробный отчет о каждом явлении, которое когда-либо наблюдалось при работе с аудионом или подоб-

ными устройствами. В нем не было четкого объяснения того, как работает аудион. Заявляя, что работа аудиона основана на совершенно новых принципах, де Форест признавал, что действительно не может полностью объяснить, что это за новые принципы. «Все они находятся в глубине обширного текста и диаграммах, что является подтверждением того, что я еще не пришел к полностью удовлетворительной теории в отношении того, как работает аудион» — сказал де Форест.

После окончания доклада состоялось его обсуждение, в котором приняли участие: Майкл И. Пупин (*Michael I. Pupin*), Перси Томас (*Percy H. Thomas*), Ли де Форест, Сивел Кэбот (*Sewall Cabot*), Дж. Тейлор (*J. B. Taylor*), Э. Томпсон (*Edward P. Tompson*) и Ф. Вриланд (*Frederik K. Vreeland*). Приведем некоторые фрагменты, которые прозвучали в процессе обсуждения доклада де Фореста [21].

Дискуссию открыл Майкл И. Пупин. В своем выступлении он выразил несогласие с введенным де Форестом названием «*audion*» для разработанных им детекторов: «Если у каждого нового детектора должно быть новое имя, то есть новое имя для всего, что появляется в ходе развития электрического искусства, то очень скоро наука электротехника превратится в лабиринт новых имен. Выучить имена будет намного труднее, чем изучить факты, связанные с искусством. По этой причине я против новых имен. Хотя доктор де Форест с большим энтузиазмом относится к элегантности имени «*audion*», я должен сказать, что он меня не очень впечатлил. Это смесь. Это латинское слово с греческим окончанием. Если бы он сказал «*acoion*» или «*ousticon*», это могло бы быть лучше, но произнести его было труднее» [21, p. 764].

Обсуждение, последовавшее за докладом, показало, что общий принцип работы устройства не был ясен не только присутствующим, но даже самому де Форесту. По этому поводу Пупин сказал: «Мне кажется, что это один из самых сложных моментов для понимания в докладе. Это камень преткновения в нашем понимании *modus operandi* (лат., образ действия) всего этого. Почему это работает? У меня нет объяснений. С моей стороны было бы самонадеянно предложить его, даже если бы у меня оно и было. Если доктор де Форест не может этого объяснить, то я тем более, тоже не могу» [21, p. 766].

В ходе дискуссии прозвучал вопрос Перси Томаса (*Percy H. Thomas*) [21, p. 766] о том, правильно ли он понимает предположение о том, что действие аудиона зависит от ионизации остаточных газов в вакууме, или вакуум настолько совершенен, что ионы или электроны исходят от самих электродов? На это де Форест сказал: «Я думаю, что это связано с иониза-

цией остаточных газов. Газы все еще существуют в лампе, потому что вакуум — это только то, что есть во всех лампах накаливания» [21, p. 769].

12 ноября 1906 г. заседание Американского института инженеров-электриков по докладу де Фореста было продолжено в филиале института в городе Филадельфия [22]. В этой дискуссии по «аудиону» приняли участие: К. Эрет (*Cornelius D. Ehret*), Ли де Форест, В. Темпел (*W. E. S. Temple*), Г. Снук (*H. C. Snook*), Эдвин Нортруп (*E. F. Northrup*), Джеймс Хейвуд (*James Haywood*) и Георг Брид (*Georg Breed*).

Первый вопрос был задан К. Д. Эретом<sup>5</sup>: «Доктор де Форест, пожалуйста, укажите принципиальную разницу в работе между этим аудионом и выпрямителем Флеминга, структурные схемы которого очень похожи на те, которые Вы разместили на доске» [22, p. 775]. На что Ли де Форест сказал: «...Одним словом, главное различие заключается в следующем: выпрямитель Флеминга представляет собой выпрямитель Герца, а аудион — реле» [22, p. 776].

Далее вопрос задал Э. Нортруп<sup>6</sup> [22, p.777]: «Не могли бы вы рассказать нам более подробно об этом релейном устройстве. Если происходит быстрое нажатие клавиши, как быстро можно заставить реле срабатывать? Потому что если вы заставите реле срабатывать быстро, вы сможете делать очень много вещей по управлению движением и т. д.» Ответ на него Ли де Форест сформулировал следующим образом [22, p. 777]: «Мы никогда не пробовали передавать сигналы быстрее, чем требуется в обычной практике телеграфа, примерно 35 слов в минуту. Конечно, можно заметить, что вольтметр с медленным откликом отклоняется даже при мгновенном подключении. Реле будет работать положительно на таких скоростях с очень небольшим усилием, и что касается аудиона, то он будет обеспечивать скорость, по крайней мере, 35 слов в минуту, и я предполагаю, что с осциллографом он будет идеально воспроизводить колебания очень высокой частоты».

Другой вопрос, заданный Г. Снуком<sup>7</sup>, звучал так [22, p. 777]: «Приводят ли остатки отработанного газа, остающиеся в баллоне лампы, к инерционности при работе аудиона?». Де Форест на него ответил [22,

---

<sup>5</sup> К. Эрет (*Cornelius D. Ehret*) — сотрудник *Consolidated Wireless Telegraph and Telephone Company*. В 1905 г. получил первый патент US785804 на систему частотной модуляции (FM).

<sup>6</sup> Эдвин Фитч Нортруп (*Edwin Fitch Northrup*, 23.02.1866–13.05.1940) — профессор физики в Принстонском университете с 1910 по 1920 гг. Был связан с *Leeds & Northrup Company* около семи лет. В 1937 г. опубликовал научно-фантастический роман «От нуля до восьмидесяти» (*Zero to Eighty*) под псевдонимом Аккад Псевдоман (*Akkad Pseudoman*).

<sup>7</sup> Гомер Клайд Снук (*Homer Clyde Snook*, 25.03.1878–23.09.1942) — американский инженер-электрик и изобретатель. Разработал аппарат *Snook*, первое устройство без прерывания, созданное для работы с рентгеновскими лучами.

р. 778]: «Безусловно, газ имеет некоторое отношение к этому явлению. Если процесс истощения заходит слишком далеко, то аудион теряет чувствительность. Носителями являются частицы газа, а не частицы металлической пыли. Я вообще не верю, что частицы пыли контролируют процесс. Самое удивительное, что это отставание наблюдается при низком напряжении батареи «В». Вы не можете представить себе, как весь газ концентрируется в этом пространстве вокруг изолированного анода, в то время как колебания Герца проходят, но, похоже, происходит либо отвод ионов в это пространство и очень медленное восстановление их первоначального положения, либо иначе полная деионизация и очень медленная реионизация. Положительные и отрицательные ионы объединяются и перестают быть носителями. Тогда они ни что иное, как молекулы воздуха. Я так и не смог найти адекватного объяснения этого отставания».

Интересно отметить, что в выступлении Ли де Фореста ни слова не говорилось о его недавних экспериментах, сделанных до даты доклада, по воздействию на газосодержащую среду под низким давлением в трехэлектродной лампе. Статья с текстом доклада «*The audion – a new receiver for wireless telegraphy*» была также опубликована, но в двух частях в конце 1907 г. в журнале *Scientific American Supplement* [23, 24].

## 9. Аудионы с внутренним дополнительным электродом-пластиной

За день до выступления в Американском институте инженеров-электриков в Нью-Йорке (95 Liberty St., NY) де Форест подал еще одну патентную заявку (патент US841387) на устройство под названием «Устройство для усиления слабых электрических токов» (англ. *Device for Amplifying Feeble Electrical Currents*) [25]. В этой заявке описывалась лампа с остаточным газом в виде вакуумированного баллона, в котором запаяны два параллельных вертикально расположенных ненагреваемых (холодных) металлических электрода (аноды)  $D$  и  $D'$ , в пространстве между которыми находится металлическая или углеродная нить накала, рис. 15а. Такая конструкция лампы с остаточным газом не была инновационной, в то время как внешние соединения анодов и способ использования устройства обладали элементами новизны. Каждый анод имел независимый вывод для включения в схему устройства. В баллоне лампы содержится «чувствительная проводящая газовая среда, поддерживаемая в состоянии молекулярной активности» [25]. Для нагрева нити накала  $E$  используется батарея  $B$ . Нить накала может быть выполнена из платины, тантала, углерода или другого подходящего материала.

Электроды  $D$  и  $D'$  находятся на разном расстоянии от нагреваемого электрода (нити накала). Расстояние между электродами  $ED'$  меньше, чем между  $ED$ . В лампе условно выделяются две цепи: цепь  $BRDE$  — локальная приемная цепь и цепь  $F$ , которая представляет собой линейную цепь (цепь радиочастоты  $R.F.$ ), передающую токи, которые необходимо усилить усилительным устройством. В локальной цепи происходит усиление электрического тока.

В формуле изобретения (пункт 5) впервые приводится разделение цепей, которое можно назвать разделением холодным электродом (англ. *split cold electrode*). Различное соединение этих двух цепей с горячим электродом легло в основу последующего патента на трехэлектродную усилительную лампу с реальным релейным действием. Во время судебного иска *Marconi Wireless Telegraph Company of America* к *De Forest Radio Telephone and Telegraph Company* ответчики отозвали возражение по пункту 5 формулы патента US841387, которое после этого было записано следующим образом: «Пункт 5. Устройство для усиления электрических токов представляет собой вакуумированный баллон, содержащий газообразную среду, средства поддержания указанной газообразной среды в состоянии молекулярной активности, отличные для принимаемой энергии, средства для воздействия усиливаемого тока на указанную газообразную среду и локальную приемную цепь, имеющую свои электроды внутри указанного сосуда» [26].

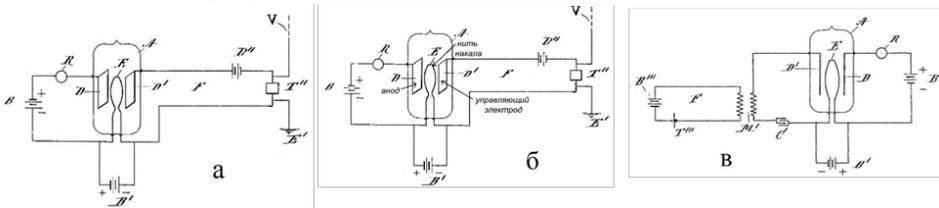


Рис. 15. Конструкции аудионов А для усиления слабых электрических токов с плоским сплошным управляющим электродом  $D'$ . Патент Ли де Фореста US841387 с приоритетом от 25 октября 1906 г. [25].

Fig. 15. Designs of audions A for amplifying weak electric currents with a flat solid control electrode  $D'$ . Lee de Forest's patent US841387 with priority dated October 25, 1906 [25]

В усилительном устройстве впервые в линейной цепи аудиона была использована третья гальваническая батарея  $B''$ , которая в дальнейшем стала обозначаться буквой «С», как компонент для создания смещения на управляющем электроде  $D'$ . Форест упустил этот факт для оформления еще одного изобретения и поэтому не указал полярность включения батареи  $B''$  на патентном чертеже, рис.15а, б. Это является неопровержимым

прямым доказательством того, что идея «отрицательного смещения на сетке» впервые возникла у де Фореста. Через 6 лет Фриц Левенштейн подал заявку для получения патента на изобретение усовершенствованной конструкции аудиона с батареей смещения. Это позволило не только ему, но тем, кто потом контролировал патент Левенштейна, компании *AT&T*, хорошо финансово обогатиться [27].

В тексте патента US841387 отмечено, что работа устройства зависит от электростатического притяжения между нитью накала и анодом  $D'$ , который соединен с антенной. Выходной ток управляется с помощью этого электрода  $D'$  при изменении его потенциала. Это фундаментальное свойство предложенного электронного усилителя. Из-за роли, которую играет электрод  $D'$  контроля тока, его стали называть «управляющим». Устройство, на которое распространяется эта патентная заявка, явилось первоначальной формой трехэлектродного аудиона. В этой конструкции аудиона (рис. 15) управляющий электрод в виде пластины  $D'$  установлен перед катодом и анодом. Такая компоновка электродов, как оказалась, способна усиливать электрический сигнал, но в меньшей степени, чем, когда позже в форме решетчатой конструкции его расположили между нитью накала (катодом)  $E$  и анодом  $D$ .

В патенте US841387 Ли де Форест приводит и другие возможные методы воздействия на «чувствительную проводящую газообразную среду» в стеклянном баллоне аудиона. При этом он всячески избегает употребление понятия электронный поток, летящий от катода к аноду, невзирая на то, что был знаком с работами Т. Эдисона, Дж. Дж. Томсона и Оуэна Ричардсона. Это говорит о том, что Форест вообще не понял природу термоэлектронной эмиссии.

Ли де Форест испытал влияние магнитного поля на «чувствительную проводящую газообразную среду», для этого он включил подковообразный электромагнит с двумя катушками в линейную цепь и установил его за стеклянным баллоном лампы, в котором располагались анод  $D$  и нить накала  $A$ , рис. 16. По мысли Фореста, усиливаемые токи, проходя через соленоид, окружающий магнит  $NS$ , изменяют его магнитное поле, которое, воздействуя на движущиеся ионы в газовой среде между электродами  $D$  и  $E$ , изменяет ток в локальной цепи. В результате такого воздействия магнитного поля происходит усиление электрического сигнала.

Патентное ведомство США выдало этот очень важный патент US841387 Ли де Форесту через 2,5 месяца после подачи заявки на изобретение, то есть 15 января 1907 г.

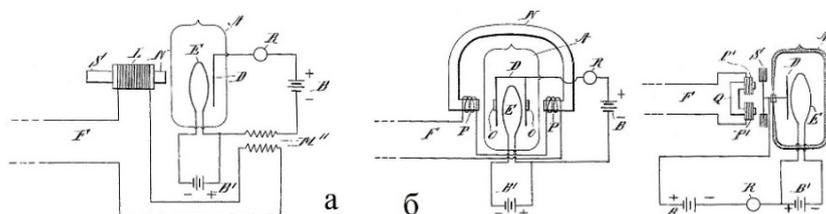


Рис. 16. Конструкции усилительных электронных ламп с магнитным управлением анодного тока. Рисунки из патента Ли де Фореста US841387 с приоритетом от 25 октября 1906 г. [25].

Fig. 16. Designs of amplifying electronic tubes with magnetic control of the anode current. Drawings from Lee de Forest's patent US841387 with priority dated October 25, 1906 [25]

## 10. Аудионы с внутренним дополнительным электродом-сеткой

Поиски наилучшего места для третьего электрода в расположении анода и катода внутри баллона аудиона не прекращались. Решение пришло к де Форесту в конце осени 1906 г., когда он завтракал со своим патентным юристом Джорджем К. Вудвортом (*George C. Woodworth*). Решение он набросал в виде рисунка на обратной стороне картонного меню. Форест предположил, что аудион мог бы работать лучше, если бы второй холодный электрод был помещен между нитью накала и анодом. Однако, он был в этом не до конца уверен, думая о том, что сплошной плоский электрод заблокирует поток «частиц» от нити накала к аноду. Чтобы этого не произошло, решено было сделать этот электрод несплошным. Для этого был использован одиночный провод, который он согнул несколько раз вперед и назад в форме зигзага. Ли де Форест дал название зигзагообразной (*zigzag*) проволоке управляющая «сетка» (*grid*) из-за ее внешнего сходства с линиями «*gridiron*» на игровых полях для американского футбола.

«У меня сложилось впечатление, — сказал де Форест, — что если мы возьмем эту зигзагообразную проволоку и поместим ее внутри, где она будет между горячей нитью накала и холодным анодом, то после этого мы должны заметить существенное улучшение. Я считаю, что чем ближе мы расположим друг к другу три элемента, тем эффективнее они будут действовать» [5].

25 ноября 1906 г. де Форест заказал у МакКэндлесса несколько ламп, которые содержали проволочную зигзагообразную сетку между нитью накала и анодом. В это время де Форест испытывал серьезные юридические и финансовые проблемы. Спустя один час после того, как он разместил этот заказ у МакКэндлесса, его компаньоны вынудили его уйти с

должности вице-президента и научного директора американской компании *De Forest Wireless Telegraph*. Ему выдали 1000 долларов, половину из которых взял его адвокат, и ожидающие рассмотрения патенты на audion (которые спонсоры сочли бесполезными) в качестве выходного пособия. Его озабоченность этой чрезвычайной ситуацией делает понятным тот факт, почему аудионы нового «сеточного типа» не тестировались до 31 декабря 1906 г.

Тестирование новой конструкции аудиона де Форест проводил со своим помощником Джоном Хоганом. От этой конструкции аудиона удалось получить усиление звукового сигнала, хотя и небольшое. Во время экспериментов Хоган впервые снял анодно-сеточную характеристику (график зависимости анодного тока от напряжения на сетке при неизменном напряжении на аноде лампы) трехэлектродной лампы (аудиона). Результаты экспериментов убедили Ли де Фореста в том, что он изобрел новый важный детектор радиоволн. В этот момент ему было 34 года.

В результате исследований Ли де Фореста была сконструирована усилительная радиолампа с низким содержанием остаточного газа, имеющая три электрода: анод, сетку и катод, рис. 17. Другими словами, была изобретена трехэлектродная лампа, в которой управление анодного тока осуществлялось с помощью изменения электрического потенциала сетки. Появление этой электронной лампы было связано с потребностью беспроводной телеграфии иметь при приеме более сильный сигнал радиостанций в сравнении с существовавшими тогда конструкциями детекторов. Заметим, что созданная ранее усилительная «лампа Либена» для радиоприема не задумывалась, а предназначалась исключительно для усиления звуковых сигналов телефонных линий.

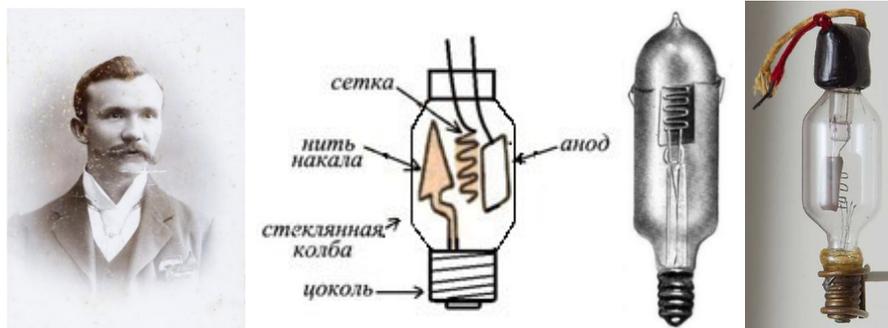


Рис. 17. Ли де Форест (1907 г.), устройство аудиона и его ранние конструкции. 1907 г.

Fig. 17. Lee de Forest (1907), the audion device and its early designs, 1907

Ли де Форест назвал изобретенную трехэлектродную вакуумную лампу по аналогии с двухэлектродным аудином (*Audion detector*) — «*Audion*» (от латинского слова «аудио» слушаю). Об этом он написал так: «Название «*Audion*» для этого устройства так же красиво, как и уместно. Этому я обязан моему помощнику, г-ну Клиффорду Бэбкоку, который принимал с самого начала непосредственное участие в разработке этого устройства» [24]. В дальнейшем, под «*Audion*» стали понимать только трехэлектродную лампу с сеткой между катодом и анодом.

## 11. Тестирование аудиона *Stone Telegraph & Telephone Co.*

Об изобретении нового чувствительного детектора Ли де Форест сразу сообщил своему другу Джону С. Стоуну<sup>8</sup>, владельцу компании *Stone Telegraph & Telephone Co.* и попросил его протестировать устройство. Компания Стоуна производила аппаратуру для беспроводного телеграфа, которую сдавала в аренду. *Stone Telegraph & Telephone Co.* располагалась в городе Кембридж<sup>9</sup> (*Cambridge*) штат Массачусетс и Бостоне.

В Нью-Йорк к де Форесту был отправлен сотрудник компании Севал Кэбот (*Sewall Cabot*), чтобы получить схему (рис. 18) устройства и несколько аудинов для исследования. Севал Кэбот вернулся в лабораторию и начал исследование, чтобы попытаться улучшить полученную схему. Взятые для экспериментов аудионы имели различные параметры. Были лампы с жестким и мягким вакуумом. Первое, что он заметил, это то, что с некоторыми лампами сильный сигнал запирает на несколько секунд радиоустройство, особенно с лампами, содержащими высокий вакуум. Когда это происходило, то Кэбот касался пальцем вывода сетки и устройство снова возвращалось к работе. Это выглядело так, как будто заряд накапливался на конденсаторе  $C'$ , соединенным с сеткой. Для его разряда он прочерчивал на нем карандашом линию, соединяющую выводы конденсатора  $C'$ . Это был первый своеобразный вид утечки тока сетки.

Добавление утечки улучшило работу приемника с жесткими лампами, в то время как с мягкими лампами этого не требовалось, по всей видимости, утечка содержится внутри них. В результате было установлено, что лампы, которые чувствительны к величине потенциала на сетке, должны

---

<sup>8</sup> *Stone Telegraph & Telephone Co.* была создана в середине 1902 г. С 1908 по 1910 гг. Стоун — президент и главный инженер этой компании. В последующие десять лет он работал консультантом и независимым экспертом в области патентного права. В 1914—1915 гг. Стоун занимал пост президента IRE.

<sup>9</sup> Кембридж известен двумя образовательными и научно-исследовательскими центрами: Гарвардским университетом и Массачусетским технологическим институтом. Город находится в 304 км от Нью-Йорка.

иметь регулируемое смещение на ней. С этой целью был удален конденсатор  $C$ , рис. 18, а вместо него в цепь между сеткой и нитью накала подключена регулируемая батарея  $C$ , рис. 19.

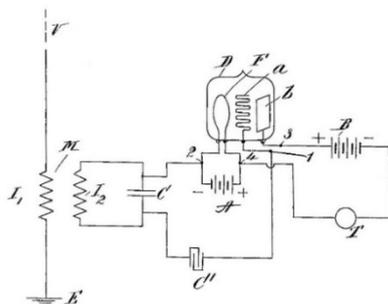


Рис. 18. Принципиальная схема аудионного радиоприемника Ли де Фореста на трехэлектродной лампе с управляющим электродом в виде сетки, которая была передана для тестирования *Stone Telegraph & Telephone Co.* Эта схема потом была включена Ли де Форестом в его патент US879532 с приоритетом от 29 января 1907 г.

Fig. 18. Schematic diagram of a Lee de Forest audion radio receiver based on a three-electrode tube with a gate in the form of a grid, which was submitted for testing to *Stone Telegraph & Telephone Co.* This scheme was then incorporated by Lee de Forest in his patent US879532 with priority dated January 29, 1907

Кэбот со Стоуном определили, что наилучшие результаты работы радиоприемника с мягкими триодами были получены, когда плюс батареи  $C$  был подключен к сетке. Кроме этого они установили, что во всех случаях необходимое смещение может быть достигнуто изменением накала нити реостатом, если для питания используется анодная батарея  $A$  с напряжением на 5—6 вольт и в этом случае отдельная батарея  $C$  не требуется. Что касается аудионов с жестким вакуумом, то было выявлено, что они могут работать при двух режимах сетки: когда ее потенциал положителен и когда он равен нулю. Последний режим соответствовал усилению электрических сигналов, но тогда это не было известно. Этот режим был определен только через 4 года Фрицем Левенштейном в его патенте, полученном на изобретение звукового усилителя.

По окончании исследования Стоун и Кэбот подали заявку на изобретение (рис. 19), в которой была приведена схема аудиона с батареей смещения и управляющим электродом в виде плоской сетки. Как указано в заявке, целью изобретения явилось повышение чувствительности детектора колебаний типа аудиона Ли де Фореста. Повышение чувствительности достигается включением в схему гальванического элемента, положительный вывод, которого соединен с управляющим электродом, а отрица-

тельный — с нитью накала и элементами колебательного контура. Авторы изобретения получили патент US884110 от 7 апреля 1908 года [28].

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

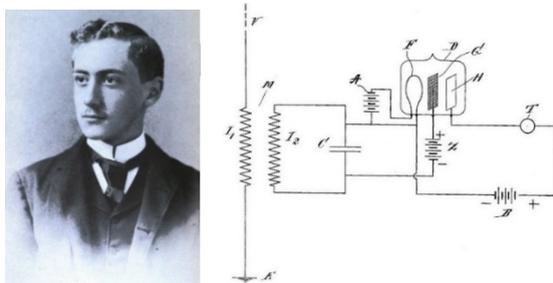


Рис. 19. Джон С. Стоун и принципиальная схема аудиона с батареей смещения из патента Стоуна и Кэбота US884110 с приоритетом от 4 января 1907 г. [28].

Fig. 19. John S. Stone and the circuit diagram of the battery-bias audion from Stone and Cabot's patent US884110 with priority January 4, 1907 [28]

## 12. Патент Ли де Фореста на аудион с сеткой

Ли де Форест, узнав результаты тестирования аудиона и о поданной заявке Стоуна и Кэбота, немедленно связался со своим патентным поверенным и 29 января 1907 г. ускоренными методами подготовил и подал заявку на получение патента. В эту заявку он включил, кроме схемы аудиона (рис. 20а), которая была на тестировании у Стоуна, без изменений, еще и схему аудиона с плоским управляющим электродом (рис. 20б). Интересно, что Форест при составлении заявки не принял во внимание результаты исследований Стоуна и в дальнейшем продвигал свое изобретение с недостатками, которые были при этом выявлены. По всей видимости, это было связано с финансовыми затратами, так как Стоун и Кэбот подали заявку на изобретение раньше де Фореста, а он не хотел платить деньги за использование их патента.

Полученный Ли де Форестом в последствии патент US879532 от 18 февраля 1908 г. на новые комбинации трех электродов в электронной лампе назывался «Телеграфирование в пространстве» (англ. *Space Telegraphy*) [29]. Цель изобретения заключалась в повышении чувствительности детекторов колебаний, содержащих в своей конструкции газообразную среду, с помощью конструктивных элементов и схемных устройств.

В этом патенте управляющий электрод (сетка) был представлен в виде зигзагообразного провода и располагался между катодом и анодом,

рис. 20а. Этот патент, однако, описывает устройство только в качестве детектора. В патенте аудион, тем не менее, наряду с детектированием, работает и в режиме усиления радиосигнала. Приведенные две схемы аудионов (рис. 20) показывают, что в одном из них (рис. 20б) управляющий электрод имеет отрицательное смещение и может происходить усиление сигнала. В другом случае (рис. 20а) во внешнюю цепь управляющего электрода включен разделительный конденсатор. Эта схема, благодаря наличию газа в лампе, работает лучше, чем при использовании вакуумного триода с глубоким вакуумом.

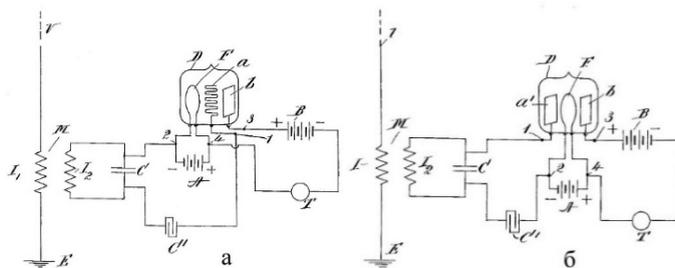


Рис. 20. Аудионный радиоприемник Ли де Фореста на трехэлектродной лампе с расположением третьего электрода (сетки) между катодом и анодом (а). Рисунки из патента US879532 с приоритетом от 29 января 1907 г. [29].

Fig. 20. Lee de Forest audion receiver based on a three-electrode lamp with a third electrode (grid) located between the cathode and the anode (a). Drawings from patent US879532 with priority dated January 29, 1907 [29]

Формула изобретения содержит 18 пунктов, в которых закреплены основные отличительные особенности конструкции аудионов в представленных усилительных устройствах. Интересно, что в тексте патента вместо объяснения принципа усиления изобретенных устройств дается ответ Фореста на то, почему он этого не сделал [29]: «Я экспериментально определил, что наличие проводящего элемента *a*, который, как было сказано ранее, может иметь форму сетки, увеличивает чувствительность детектора колебаний и, поскольку объяснение этого явления чрезвычайно сложно и в лучшем случае будет лишь предварительным. Я не считаю необходимым вдаваться в подробное изложение того, что, по моему мнению, является вероятным объяснением».

Конструкция аудиона была запатентована в ряде ведущих стран мира в области беспроволочной телеграфии. Рисунки во всех зарубежных патентах одни и те же, соответствуют рисункам американского патента US879532, рис. 20.

В Германии 23 января 1908 г. Форестом был получен патент DE217073A на аудион под названием «Индикаторы колебаний для электрических волн в беспроводной телефонии» (нем. *Schwingungsanzeiger für elektrische Wellen, insbesondere für die drahtlose Telephonie*). В этом патенте отмечено, что этот документ признается приоритетным при рассмотрении в соответствии с Решением Парижской конвенции по охране промышленной собственности от 20 марта 1883 г. (пересмотренной в Брюсселе 14 декабря 1900 г., в Вашингтоне 2 июня 1911 г.). Формула изобретения в патенте DE217073A содержит всего три пункта. В первом пункте отмечено, что в баллоне лампы имеется газ и три электрода (нить накала, сетка и анод), во втором указано, что нить накала находится между сеткой и анодом, в третьем — сетка находится между нитью накала и анодом.

В Великобритании Ли де Форест получил на аудион патент GB190801427A от 30 апреля 1908 г., который имел название: «Улучшения в пространственной телеграфии» (англ. *Improvements in Space Telegraphy*). В Британском патенте цели изобретения сформулированы следующим образом: «Цели моего изобретения заключаются в том, чтобы повысить чувствительность детекторов колебаний, содержащих в своей конструкции газообразную среду, с помощью конструктивных особенностей и схемных решений».

Изобретение аудиона было также зарегистрировано и в России, под названием «Вибрационный детектор для приемной радиотелеграфной станции», привилегия № 21046 от 29.02.1912. В русском патенте приводится только одна схема аудионного приемника (рис. 20а). Это связано, вероятно, с тем, что Форест уже к 1912 году окончательно определился с конструкцией аудиона, то есть зигзагообразная сетка должна находиться между нитью накала и анодом.

Новые изобретения любой технической сложности обычно проходят через период трудностей роста. Аудион обратил на себя внимание в первую очередь способностью обнаруживать модулированные радиоволны значительно лучше, чем существовавшие в этот период времени для этой цели другие устройства.

Первые конструкции аудионов работали не особенно хорошо, они лишь немного усиливали принимаемый сигнал. Невзирая на это радиоприемники на их основе давали более громкий звук, чем с использованием «вентилля Флеминга». Более 800 электронных ламп типа аудион были изготовлены и проданы МакКэндлессом в период с 1907 по 1913 гг. Новый тип лампы еще пока не подходил для использования в радиопередатчиках. Аудионы имели малый срок службы и дорого стоили, что сначала сдерживало их внедрение в радиотехнику.

### 13. Спрос на аудионы

Де Форест, проведя эксперименты, сделал вывод о том, что качественно изготовленный аудион обладает высокой чувствительностью и поэтому хорошо подходит для беспроводной телефонии. Джон Хоган в 1908 году отметил [30]: «К сожалению, чувствительное состояние чрезвычайно трудно определить и еще труднее поддерживать. Некоторые лампы аудион сначала проявляют необычайную чувствительность, но при использовании быстро угасают. Другие лампы практически бесполезны с самого начала, и ни одна из них не остается чувствительной очень долго. Аудион может стать действительно эффективным детектором, но в его нынешних формах он весьма ненадежен и слишком сложен, чтобы с ним мог правильно обращаться обычный оператор беспроводной связи. Соответствующие правила его эксплуатации имеют первостепенное значение, но их применение не всегда происходит со знанием дела и системно».

Джон Хоган был ключевой фигурой на раннем этапе развития беспроводной телеграфии и радиовещания, сочетая изобретательство с практической инновационной деятельностью. Он проработал в компании Ли де Фореста около года и за это время успел разработать коммерческий приемник на аудионе с плавной настройкой на частоту радиостанции, рис. 21 [30].

В первые несколько лет после появления аудиона производители беспроводной телефонной аппаратуры обнаружили, что спроса на аудионы почти не существует, и поэтому поставляли вместе со своим оборудованием кристаллические и термоэлектрические детекторы.

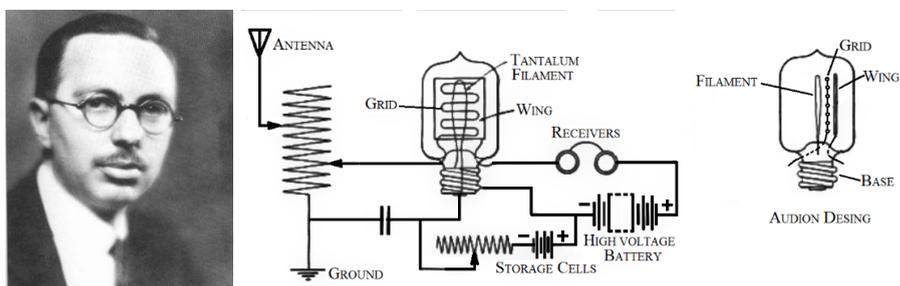


Рис. 21. Джон Хоган и разработанная им принципиальная схема приемника на аудионе с элементом настройки на частоту принимаемой радиостанции. 1908 г. [30].

Fig. 21. John V. L. Hogan and the schematic diagram of an audio receiver with an element of tuning to the frequency of the received radio station that he developed. 1908 [30]

В 1910 году испытания в Национальном бюро стандартов США (*National Bureau of Standards*, сокращено *NBS*) дали несколько более бла-

гоприятную оценку: триод был объявлен примерно на 50 процентов более чувствительным, чем электролитический детектор, а кристаллический выпрямитель и другие типы детекторов лишь немного отстали. В практических коммуникациях превосходство в 50 % едва заметно, но де Форест нашел результат достаточно благоприятным, чтобы спустя годы заявить об этом в своей рекламе.

## 14. Заключение

Трехэлектродный аудион, как и предыдущие модели под таким же названием, был устройством низкого давления. Поэтому называть его «вакуумной лампой» неверно. Однако важно понимать, что потенциальная полезность трехэлектродного (триодного) аудиона была не сразу обнаружена, что очевидно. Немногие, кроме Ли де Фореста, изначально были впечатлены его работой в качестве детектора.

Современные тестирования некоторых ранних аудионов (триодов) показывают, что в качестве детекторов они были ненамного лучше диодных выпрямителей. Если бы де Форест предпринял эксперименты с изменением размера, формы и расстояния между электродами, то он мог бы добиться больших улучшений в работе аудионов. Однако этого не произошло, похоже, что он считал трехэлектродный аудион 1906 г. по существу законченным изобретением и не внес никаких существенных изменений в его конструкцию, которые в конечном итоге были сделаны другими. Еще в 1916 г., когда потенциальный конкурент вывел на рынок триод с радикально иной, но невероятно неэффективной геометрией, не критичным ответом де Фореста было производство дубликата не очень эффективного трехэлектродного аудиона. Это, при том, что *Western Electric* и *General Electric Company* к тому времени разработали значительно улучшенные вакуумные триоды, основанные на лучшем понимании фундаментальных принципов их работы.

В начале двадцатого века, благодаря таланту, трудолюбию и непомерному честолюбию Ли де Фореста была создана новая трехэлектродная ламповая радиотехнология, которая коренным образом повлияла на развитие беспроводного телеграфа и электронные технологии.

## Список литературы

1. Lee De Forest. Father of Radio. The Autobiography. 1<sup>st</sup> edition. Wilcox & Follett Co., Chicago, 1950. 502 p.
2. Lee De Forest. The Audion – Its Action and Some Recent Applications. Part I. A historical paper of unusual interest to the Radio fraternity // Radio News. 1920. No. 10. P. 208–210.

3. Lee De Forest. Audion was invented // *Radio-craft*. 1947. No. 1. P. 18–21.
4. Lee De Forest. Oscillation responsive device. Patent US824638. Patented June 26, 1906. Application filed January 20, 1906. 3 p.
5. Butler Frank E. Birth of the audion // *Radio-craft*. 1947. No. 1. P. 22–26.
6. Lee De Forest. Oscillation responsive device. Patent US979275. Patented Dec. 20, 1910. Application filed February 2, 1905. 5 p.
7. Secor H. Winfield. The Vacuum Detector // *Electrical Experimenter*. 1913. No. 05. P. 9–10.
8. Tyne Gerald F. J. How audions were built // *Radio-craft*. 1947. No. 1. P. 27.
9. Tyne Gerald F. J. Saga of the Vacuum Tube. Berkeley Heights, New Jersey, 1977. First edition third printing, 1994. P.55.
10. Marconi's wireless telegraph company, limited. Fleming valves. URL: <http://www.valve-radio.co.uk/literature/marconi-receiving-measuring-instruments/> (10.06.2021).
11. Lee De Forest. Oscillation responsive device. Patent US824637. Patented June 26, 1906. Application filed January 18, 1906. 5 p.
12. Chipman Robert A. De Forest and the Triode Detector // *Scientific American*. March 1965. Vol. 212, No. 3. P. 92–103.
13. Wireless wooing ends in a wedding // *New York World*. February 17, 1906. P. 5.
14. Kenneth C. Gardner Jr. "And All Our Yesterdays..." and Nine Other Stories. iUniverse LLC. Bloomington, 2014. P. 52.
15. Lee De Forest. Signaling system. Patent US1123118. Patented Dec. 29, 1914. Application filed July 8, 1907. 4 p.
16. Lee De Forest. Oscillation responsive device. Patent US836070. Patented Nov. 13, 1906. Application filed May 19, 1906. 3 p.
17. Lee De Forest. Oscillation responsive device. Patent US824637. Patented June 26, 1906. Application filed January 18, 1906. 5 p.
18. Lee De Forest. Wireless telegraphy. Patent US837901. Patented Dec. 4, 1906. Application filed February 14, 1906. 4 p.
19. Lee De Forest. Wireless telegraphy. Patent US841386. Patented Jan. 15, 1907. Application filed August 27, 1906. 8 p.
20. Lee De Forest. The Audion. A New Receiver for Wireless Telegraphy // *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. January to December 1906. Vol. 25. Published by AIEE. New York. 1907. P. 735–763.
21. Discussion on "The Audion ; A New Receiver for Wireless Telegraphy," New York, October 26, 1906 // *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. January to December 1906. Vol. 25. Published by AIEE. New York. 1907. P. 764–774.
22. Discussion on "The Audion" at the Philadelphia Branch, November 12, 1906 // *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. January to December 1906. Vol. 25. Published by AIEE. New York, 1907. P. 775–779.
23. Lee De Forest. The Audion. – I. A New Receiver for Wireless Telegraphy // *Scientific American Supplement*. November 30, 1907. No. 1665. P. 348–350.
24. Lee De Forest. The Audion. – II. A New Receiver for Wireless Telegraphy // *Scientific American Supplement*. December 7, 1907. No. 1666. P. 354–356.
25. Lee De Forest. Device for amplifying feeble electrical currents. Patent US841387. Patented Jan. 15, 1907. Application filed October 25, 1906. 4 p.
26. Fleming J. A. The thermionic valve and its developments in radiotelegraphy and telephony. London. The wireless press, LTD. 1919. P. 115.
27. Pestrikov Victor M. The invention of a tube audio amplifier // *ITM Web of Conferences*. Vol. 30, 16002 (2019). URL: [https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2019/07/itmconf\\_crimico2019\\_16001.pdf](https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2019/07/itmconf_crimico2019_16001.pdf) (07.05.2021).

28. Stone J. S. & Cabot S. Space Telegraphy. Patent US884110A. Patented Apr. 7, 1908. Application filed Jan. 4, 1907. 3 p.
29. Lee De Forest. Space Telegraphy. Patent US879532A. Patented Feb. 18, 1908. Application filed Jan. 29, 1907. 4 p.
30. Hogan John L. The Audion : A Third Form of the Gas Detector // Modern electrics. 1908. No. 10. P. 232–233.

### **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.