О КОРОТКИХ И ВЕСЬМА КОРОТКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛНАХ *

А. Шейбе, Берлин

С тех пор, как короткие и весьма короткие электрические волны вошли в радиотехнику, которая многими причинами побуждалась к удлинению шкалы используемых волн в сторону коротких волн, они привлекли большое внимание благодаря своему техническому и научному интересу. Техника получила возможность увеличения радиуса действия радиопередающих станций путем использования направленного пучка лучей при относительно незначительной мощности передатчика. С научной точки зрения выявилась возможность исследования состояния верхних слоев атмосферы (ионосферы).

Специальная литература, посвященная коротким и весьма коротким волнам, стала очень обширной. Коль [1] в своем обзоре методов получения весьма коротких волн уже в 1930 г. привел 130 оригинальных работ, Ферстерлинг и Ляссен [2] в 1931 г. сослались на 56 оригинальных работ, касающихся вопросов распространения коротких волн. В журнале „Hochfrequenztechnik und Elektroakustik" за один только 1933 г. опубликовано не менее 37 оригинальных работ и рефераторов, посвященных коротким волнам. При такой продуктивности исследований даже специалист, работающий в этой области, лишь с трудом может обозревать имеющийся материал; для специалистов же, работающих в других областях, подобный обзор совершенно недоступен.

В настоящем обзоре в общих чертах и по возможности кратко излагаются важнейшие сведения о получении, распространении и использовании коротких и весьма коротких волн. Этот обзор предназначается не для специалистов, но для физиков, интересующихся этими проблемами.

В целях большей наглядности необходимо ввести распределение всей области длин волн на несколько отдельных частей.

1. Длинные волны — от 2 000 *м* и выше.
2. Средние волны — приблизительно от 100 до 2 000 *м*.
3. Короткие волны — от 10 до 100 *м*.
4. Весьма короткие волны — от нескольких сантиметров до 10 *м*.

---

* Доклад в коллоквиуме Германского государственного физико-технического института, опубликованный в журнале „Physikalische Zeitschrift" **35**, 206, 1934; перевод Н. Н. Малова.

Величина 2 000 *м* выбрана несколько произвольно, она ограничивает область от 100 до 2 000 *м*, в которой лежат волны широковещания и правительственных станций, от области волн, используемой в коммерческой длинноволновой связи. Электрические волны групп 1 и 2 распространяются главным образом вдоль земной поверхности (волны Ценнека, земные волны). Однако уже здесь в коротковолновой части группы 2 наблюдаются явления замирания приема, свидетельствующие о влиянии верхних слоев атмосферы на распространение волн. Волны области 3 распространяются по законам, определяющимся исключительно электрическим состоянием верхних слоев атмосферы. В радиосвязи они применяются для связи на больших расстояниях. Волны, меньшие 10 *м*, принадлежащие к группе 4, распространяются по оптическим законам. Поэтому их распространение не зависит от состояния верхних слоев атмосферы. Следует указать однако, что границы 100 и 10 *м* несколько произвольны.

В специальной литературе волны группы 4 называются ультракороткими, дециметровыми и микроволнами (по мере укорочения волны).

Следует напомнить, что первоначальные опыты Герца и Маркони производились с короткими (дециметровыми и метровыми) затухающими волнами; в дальнейшем развитие радиотехники пошло в направлении длинных волн; машинные передатчики мощных станций работали на волнах длиной 18 *км* и больше.

Широкое распространение ламповых передатчиков привело к чрезвычайно тесному заполнению использованного диапазона волн, так что ко времени широкого развития радиовещания для радиолюбителей остались свободными лишь длины волн, меньшие 100 *м*. Несомненной заслугой радиолюбителей является то, что они снова привлекли внимание науки и техники к вопросам практического использования волн, короче 100 *м*, что послужило толчком к развитию техники коротких волн. Однако следует заметить, что хотя в беспроволочной связи короткие волны во многих случаях могут заменить длинные, однако полное прекращение эксплоатации длинноволновых станций невозможно, так как полная надежность непрерывной связи на коротких волнах еще не обеспечена.

Получение коротких и весьма коротких волн

1. Общие замечания. Возбуждение коротких и весьма коротких электрических волн осуществляется главным образом при помощи лампового генератора с обратной связью; принципиальная схема включения его изображена на рис. 1.

Колебательный контур анодной цепи связан здесь с контуром сетки индуктивно. При волнах длиннее 100 *м* не существует затруднений для получения при помощи этой схемы и одного единственного контура достаточной энергии колебаний в очень широком диапазоне длин волн, так что, например, для получения волн

длиной от 100 до 300 000 *м* можно пользоваться лишь двумя контурами, незначительно отличающимися друг от друга по своим размерам. В интервале волн от 100 до 30 000 *м* можно пользоваться также схемой, изображенной на рис. 3.

В области волн, короче 100 *м*, ламповый генератор резко изменяет свою энергию при изменении длины волны; здесь уже не удается получить одинаковых энергий при широком изменении диапазона длин волн, так что, например, уже для простейших измерений в области от 10 до 100 *м* приходится пользоваться, по крайней мере, четырьмя контурами различных размеров.

Кроме затруднений, связанных с получением достаточной мощности колебаний при изменении длины волны, возникают также затруднения, обусловленные неспособностью лампового генератора излучать очень короткие волны. Это легко выяснить, рассмотрев вкратце зависимость длины волны и коэфициента связи в ламповом генераторе.

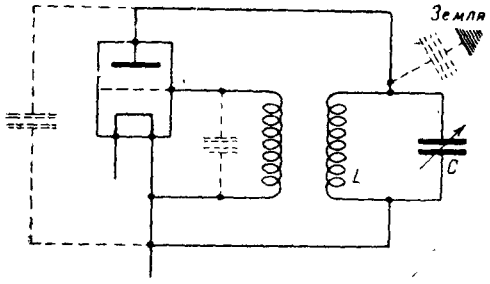

Рис. 1. Трансформаторная связь .

а) Длина волны λ лампового генератора с большим приближением определяется из постоянных колебательного контура следующим соотношением:

$$\lambda = k\sqrt{LC},$$

где L и C представляют индуктивность и емкость контура. Таким образом теоретически процентное уменьшение λ должно соответствовать уменьшению $\frac{\Delta L}{2}$ или $\frac{\Delta C}{2}$.

Практически, однако, при уменьшении L или C начинает все более резко сказываться влияние индуктивности проводов, соединяющих контур с электродами лампы, а также емкости между анодом, сеткой и катодом лампы и неизбежных паразитных емкостей схемы. Последние можно считать приключенными параллельно емкости колебательного контура (емкости, изображенные пунктиром на рис. 1).

б) Для возбуждения незатухающих колебаний в ламповом генераторе необходимо соблюдение определенного отношения переменного напряжения U_g, индуцируемого в контуре сетки, к анодному переменному напряжению U_a. Это соотношение определяется проницаемостью лампы D, сопротивлением лампы R_i и сопротивлением анодного контура $R_a = \frac{L}{CR}$, и оказывается равным $D\left(1+\frac{R_i}{R_a}\right)$. Эта величина (называемая фактором обратной связи K) при максимальной мощности колебаний достигает значения $2D$. Так как D

у обычных генераторных ламп близко к 0,1, то для получения колебаний в наиболее благоприятных условиях переменное сеточное наряжение должно составлять около одной пятой части переменного анодного напряжения. При уменьшении длины волны благодаря увеличивающейся проводимости емкости сетка-катод, включенной параллельно сеточной катушке, а также из-за уменьшения R_a это оптимальное значение коэфициента обратной связи получить очень затруднительно.

в) В вышеуказанных случаях предполагалось, что время пробега электрона от одного электрода лампы к другому исчезающе мало по сравнению с продолжительностью колебаний переменного тока Однако при волнах, меньших 1 *м*, это уже не имеет места. При этом затруднения в получении колебаний при помощи лампы увеличиваются, так как электронный ток и управляющее сеточное напряжение уже не совпадают по фазе. Хольман [3] пытался вывести соответствующие соотношения при помощи так называемых ультрадинамических колебательных характеристик, что позволило бы связать колебания, получаемые при помощи обратной связи, с колебаниями Баркгаузена-Курца.

Поэтому все попытки максимального укорочения длины волны сводились к изысканию возможностей максимального уменьшения паразитных индуктивностей и емкостей и создания условий для достижения оптимальной величины коэфициента обратной связи. Был разработан целый ряд различных, можно сказать, индивидуальных схем которые, однако, оказались применимыми лишь в очень узкой области волн. Кроме того потребовалось внесение соответствующих изменений в конструкцию ламп, предназначенных для генерации коротких волн.

Коротковолновые лампы [4], как, например, лампа типа RS-229$_g$ фирмы „Телефункен" (рис. 2), отличаются тем, что выводы анода и сетки вделаны в стекло на значительном расстоянии друг от друга и от выводов катода, благодаря чему паразитные емкости между электродами значительно уменьшены по сравнению с емкостями, получающимися при обычном выведении сетки и катода в цоколь лампы. Кроме того сеточный ввод рассчитан таким образом, чтобы он мог безболезненно выдерживать значительные сеточные токи, достигающие величины 20—30 *а*.

На рис. 2а изображена русская коротковолновая лампа типа Г-120 мощностью 5 *кв*. Ее сеточный ввод расположен сбоку стеклянного баллона за пластинами конденсатора колебательного контура; катод выведен в верхнюю часть лампы, а анод, представляющий собой массивный медный цилиндр, выведен из стеклянного баллона наружу и помещен в бачке, служащем для охлаждения анода проточной водой.

2. Некоторые схемы с обратной связью. Уже в области средних длин волн оказывается целесообразным заменить схему индуктивной или трансформаторной обратной связи, изображенную на рис. 1, другой схемой, в которой сеточная катушка является

частью катушки колебательного контура, обратная связь создается индуктивным делением напряжения (рис. 3).

При коротких волнах индуктивное деление напряжения можно заменить емкостным (рис. 4), имеющим то преимущество, что из-

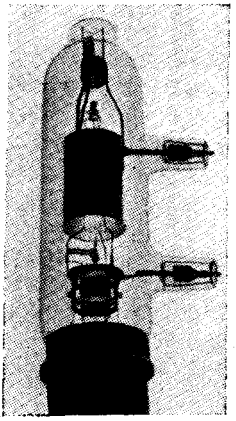

Рис. 2. Коротковолновая лампа RS 229 g фирмы Телефункен.

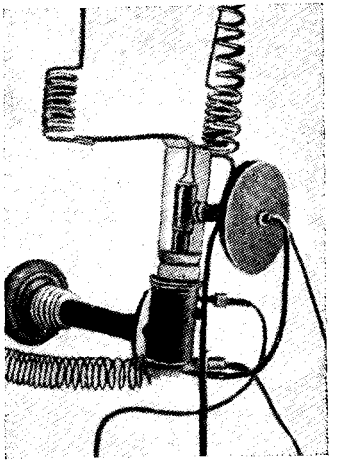

Рис. 2а. Коротковолновая лампа Г-120 завода Светлана.

менение обратной связи делается более удобным, а последовательное включение емкостей способствует дальнейшему уменьшению длины волны. Для устранения оседания заряда на сетке ее соединяют с катодом высокоомным сопротивлением утечки.

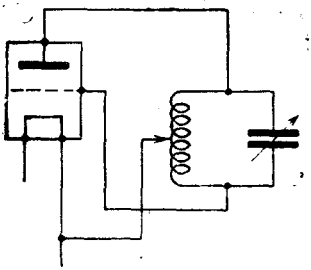

Рис. 3. Схема с индуктивным делением напряжения.

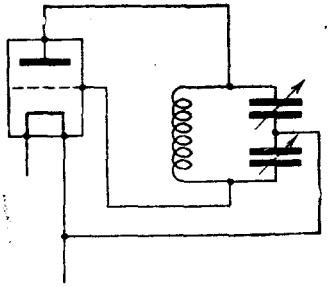

Рис. 4. Схема с емкостным делением напряжения.

При волнах, меньших 10 *м*, очень хорошо работает схема, изображенная на рис. 5, в которой обратная связь между анодным и сеточным контурами осуществляется через внутреннюю емкость ламп. Изменение длины волны осуществляется путем удлинения и

укорочения прямоугольных контуров анода и сетки, делающихся из вдвигающихся друг в друга трубок, подобно обычному тромбону. При длине $AB = 22{,}5$ *см* и $CD = 18{,}4$ *см* получается при небольшой усилительной лампе длина волны около 5 *м*.

Видоизменение этой схемы, в котором лехеровская система двух параллельных проводов используется в качестве колебательного контура, включаемого между анодом и сеткой, позволяет получить волны, несколько меньшие 1 *м*.

В рассмотренных схемах чрезвычайно неприятным является образование колебаний в проводах, соединяющих анод и катод с источником питания. Приходится прилагать много труда, чтобы поглощение высокочастотной энергии в подводящих проводах свести к минимуму путем включения в них подходящих дросселей. Чем меньше длина волны, тем меньше пользы приносят эти дросселя

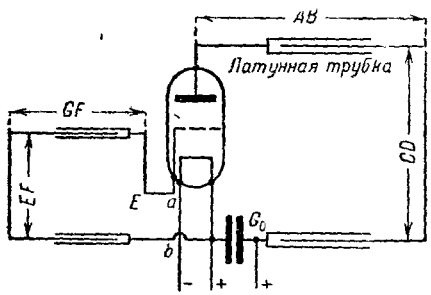

Рис. 5. Коротковолновая схема с внутренней обратной связью.

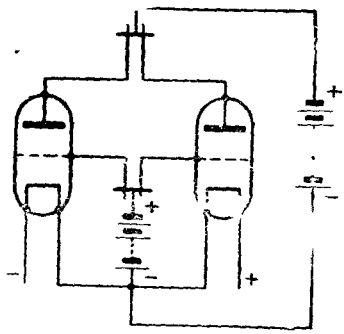

Рис. 6. Двухтактная схема.

Значительное уменьшение поглощения высокочастотной энергии в подводящих проводах достигается применением двух ламп, включенных по двухтактной схеме. Обе лампы (рис. 6) колеблются в противоположных фазах, благодаря чему при симметричной конструкции генератора, например, при включении в анодную и сеточную цепи лехеровских систем, подводящие провода могут быть приключены к легко находимым узловым точкам высокочастотного переменного напряжения. При этом дросселя в подводящих проводах сохраняются. При помощи такой схемы также удается получить волны, меньшие 1 *м*. При длине волны в 1,3 *м* при лампе REN-904 была получена мощность высокой частоты, равная 1,5 *вт* [5].

По данным Маркони при помощи двухтактной схемы удается получить волны до 26 *см*. Калориметрически измеренная мощность подобного дециметрового генератора достигает 3,5 *вт*.

На аналогичном принципе построен трехметровый генератор Эзау [6], схема которого изображена на рис. 7. Колебательный контур состоит из последовательно включенных элементов: $L_1, L_2, C_2, L_3 C_1$. Емкость анод-сетка второй лампы двухтактной схемы заменена здесь конденсатором C_2. Коэфициент обратной связи устанавливается

путем перемещения подвода анодного напряжения *b* по проволочному прямоугольнику. Включение гальванически связанной антенны также осуществляется при помощи скользящего контакта, устанавливаемого в наиболее благоприятном положении. Включение дросселей, особенно в цепи накала, является необходимым. Мощность колебаний высокой частоты при использовании лампы фирмы „Телефункен" типа RS-207 * достигает 700 *вт*. На русских лампах типа Г-54 завода „Светлана" при использовании этой схемы можно получить до 400 *вт* колебательной мощности при длине волны 3,5 *м*. Лампа Г-120, включенная по схеме Эзау, позволяет получить значительную колебательную мощность при длине волны 2,7 *м*.

3. Генераторы Баркгаузена-Курца. Как указывалось выше, при помощи схем с обратной связью удается получить волны короче 1 *м*. Таким образом мы приходим в область волн, где период колебаний генератора делается соизмеримым со временем движения электронов между электродами лампы. В этих условиях

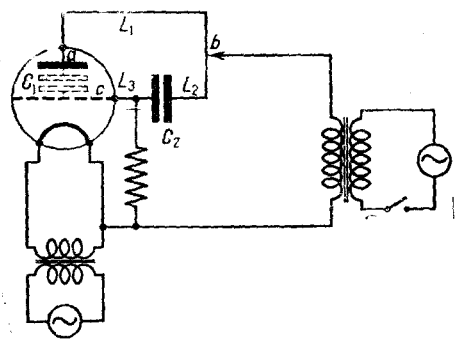

Рис. 7. Коротковолновая схема Эзау.

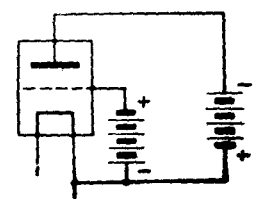

Рис. 8. Схема Баркгаузена — Курца для весьма коротких волн.

возможен переход к возбуждению колебаний по методу Баркгаузена-Курца. Схема этого включения изображена на рис. 8. Наиболее замечательным в этой схеме является отсутствие внешнего колебательного контура. Колебания возбуждаются легче всего в лампе, обладающей цилиндрической симметрией и имеющей положительно заряженную сетку и отрицательно заряженный анод. Измерения показывают, что длины волн определяются радиусами электродов и приложенными напряжениями. При неизменном анодном напряжении получается следующая зависимость между сеточным напряжением и длиной волны:

$$\lambda^2 E_g = \text{const}.$$

Возникновение колебаний может быть объяснено колебательным движением электронов около сетки под действием ускоряющего

* Эта лампа, рассчитанная на работу при коротких волнах, имеет номинальную мощность 1,5 *кв*.

поля сетки и тормозящего поля анода. Период получающихся электрических колебаний должен совпадать (при этом толковании) с продолжительностью одного колебания электрона.

В действительности явление значительно сложнее, чем это представляет себе вышеуказанная простейшая гипотеза, содержащая, несомненно, зерно истины, так как время движения электронов между электродами соизмеримо с периодом колебаний.

Не останавливаясь на детальном рассмотрении этого вопроса укажем на некоторые явления, послужившие толчком к появлению большого числа теоретических и экспериментальных работ, посвященных колебаниям Баркгаузена-Курца.

Автор настоящего реферата нашел, что кроме обычных волн, называемых „длинными волнами", одновременно возбуждаются также „короткие волны", длина которых приблизительно вдвое меньше, чем первых. Весьма важной является негармоничность коротких волн по отношению к длинным. Потапенко обнаружил существование еще более коротких — „карликовых волн", длина которых могла достигать всего 3,5 *см*. Эти явления не могут быть объяснены простым колебательным движением электронов относительно сетки. Жиль и Морэль, а также другие авторы, нашли, что кроме волн Баркгаузена-Курца возникают также волны, независящие от радиуса электродов и величины приложенных напряжений, но определяющиеся величиной внешнего связанного колебательного контура, например, лехеровской системы.

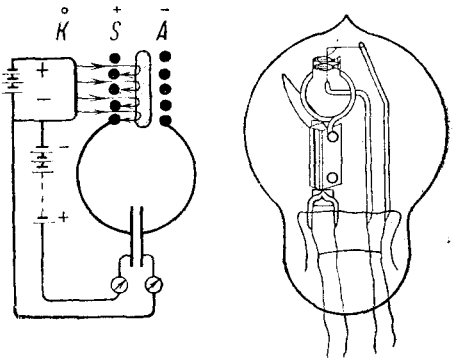

Рис. 9. Лампа Коля для весьма коротких волн. Слева — принципиальная схема справа — вид лампы.

Было сделано громадное число попыток объяснить эти явления. Укажем, что по мнению Коля даже для волн Баркгаузена-Курца в чистом виде существует настроенный колебательный контур, который, конечно, следует искать внутри самой лампы. Это представление привело к конструкции специальной лампы для 14—30-*см* волны с колебательным контуром, помещенным внутри лампы. На рис. 9 изображено устройство такого контура, состоящего из проволочного круга и маленького конденсатора, расположенного между спиралевидными анодом и сеткой.

Большой интерес представляет попытка Меллера[7] и его учеников рассмотреть процессы, вызывающие частичное поглощение энергии электронов и возникновение „затухающих" электронов. Подробное рассмотрение этой попытки, так же как и ряда других,

выходит за рамки настоящего реферата. Интересующихся мы отсылаем к оригинальным работам.

Энергия колебаний, получающихся в лампе по способу Баркгаузена-Курца, ничтожна; обычно она составляет лишь доли ватта. Поэтому неоднократно делались попытки увеличить энергию колебаний. Это удается, например, при использовании

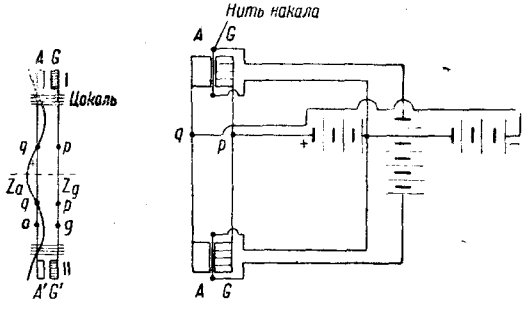

Рис. 10. Параллельное включение двух генераторов Баркгаузена — Курца. Слева — распределение напряжения, справа — схема включения.

специальной бесцокольной лампы[8]. В этой лампе между сеткой и катодом располагается лехеровская система, настраиваемая на частоту колебаний электронов, так что подводы от источника питания сетки и анода могут быть включены в узловые точки колебательного напряжения. С большим успехом лехеровская система используется также для подводки питания к накалу лампы. Автор настоящего реферата[9] предложил параллельное включение нескольких ламп, в котором связи между электродами выполняются в виде лехеровских систем. На рис. 10б показана схема для двух ламп. На рис. 10а изображено распределение напряжения вдоль лехеровской системы, к узловым точкам которой (q и p) приключены питающие провода. Этот метод очень благоприятно сказывается на энергии колебаний, которую удается довести до значений, значительно больших, чем удвоенная энергия колебаний, получаемых с одной лампой. Другой метод увеличения энергии колебаний, предложенный Маркони[10], заключается в объединении пяти генераторов дециметровых волн при помощи рефлекторов в один об-

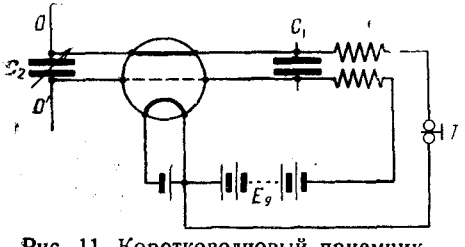

Рис. 11. Коротковолновый приемник.

щий параболический генератор. Разумеется, отдельные генераторы должны быть синхронизированы на общую длину волны.

4. Приемники по Баркгаузену-Курцу[11]. Прием весьма коротких волн практически облегчается тем, что генератор модулируется колебаниями низкой частоты. Прием может производиться при помощи приемника, схема которого аналогична генератору Баркгаузена-Курца. Значительное улучшение приема достигнуто Хольманом при помощи аудиона, называемого „тормозящим" (Bremsaudion) (рис. 11), принцип действия которого аналогичен действию обычного аудиона. Чувствительность приема определяется величинами анодного и сеточного напряжений, регулируемых соответственным образом.

Распространение волн

1. Короткие волны: 10—100 *м*. Многочисленные наблюдения замечательных явлений, возникающих при распространении коротких волн, как, например, достижение чрезвычайно больших радиусов действия, образование мертвой зоны вблизи передатчика, зависимость радиуса действия от времени дня, замирание и многократный прием одного и того же сигнала и т. д., — привели к представлению, что распространение волн определяется ионизированным слоем, окружающим землю. Существование подобного слоя на больших высотах предполагалось Кеннели и Хивисайдом уже давно на основании наблюдений над распространением длинных волн; для объяснения явлений, наблюдающихся при связи на коротких волнах, допущение существования этого слоя совершенно необходимо. Экспериментальный материал радиотехники и метеорологические и астрономические данные о высотах полярных сияний, о высоте, на которой воспламеняются метеоры, о явлении сумерек, зодиакальном свете, распределении газов в атмосфере и т. д., позволяют сделать некоторые заключения о строении верхних слоев атмосферы, совпадающие с представлениями, получаемыми при попытках истолкования процессов распространения коротких волн. Ферстерлинг и Ляссен произвели подробное вычисление хода лучей коротких электрических волн через ионосферу и показали, что ненормальные явления, как, например, увеличенный радиус действия, многократное обегание сигнала вокруг земли, двойное преломление и т. д., могут быть объяснены этим способом.

Ионизация верхних слоев атмосферы может вызываться корпускулярным излучением, ультрафиолетовым светом или космическими лучами. Для объяснения явлений распространения волн в самых общих чертах достаточно приписать ионизацию ультрафиолетовому излучению солнца[12]. Объяснение же чрезвычайно быстро меняющихся явлений замирания приема, предполагающих быстрые изменения ионизации действующего слоя, не может быть приписано только быстрым колебаниям силы ультрафиолетового излучения; причину его пытались искать в меняющемся корпуску-

лярном излучении. Наблюдения над короткими волнами, включая наблюдения при солнечном затмении 1933 г.[13], которые должны были решить вопрос об ультрафиолетовом или корпускулярном излучении, дали материал, говорящий за корпускулярное излучение.

Что касается высоты ионизированных слоев атмосферы, — ионосферы или слоя Кеннели-Хивисайда (СКХ), — то на основании многочисленных измерений высоты[14] при помощи электрических волн приходится допустить существование двух отдельных слоев, о свойствах которых имеются в настоящее время следующие предположения.

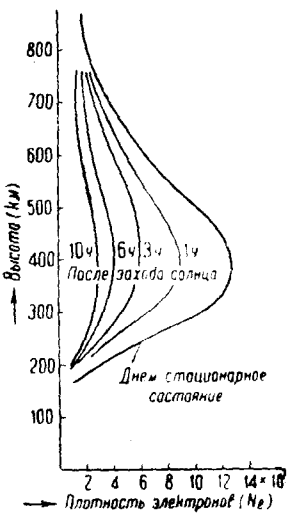

Рис. 12. Изменения плотности электронов в верхнем ионизированном слое в зависимости от высоты и времени дня.

а) Нижний СКХ состоит из атмосферы ионизированных азота и кислорода; он расположен на высоте 100 — 150 *км* и имеет максимальную концентрацию электронов, достигающую значения 10^5 электронов/см^3 на высоте 120 *км*. Электрические волны, длина которых меньше 18 *м*, проходят сквозь этот слой, даже при наклонном падении на него. По мнению Ферстерлинга и Ляссена отражение более длинных волн от этого слоя сказывается главным образом на величине затухания длинных волн.

б) Верхний СКХ состоит из ионизированной водородной атмосферы; он расположен на высоте 200 — 800 *км* и имеет максимум электронной концентрации (около $1{,}3 \cdot 10^6$ электронов/*см*^{3}) на высоте около 400 *км*. Этот слой, который волны, меньшие 10 *м*, способны еще пронизывать при наклонном падении, определяет ход лучей коротких волн; это влияние мы рассмотрим ниже, базируясь на представлениях Ферстерлинга и Ляссена.

Вычисление дает распределение плотности электронов в верхнем СКХ в зависимости от высоты слоя и времени дня, подобное распределению, изображенному на рис. 12. Эта зависимость концентрации электронов от времени дня определяет искривление луча в верхнем СКХ; она показывает, что радиус действия луча неизменной длины волны в течение дня меняется. Кроме того радиус действия зависит от глубины, на которую луч проникает в СКХ. Это значит, что радиус действия зависит от угла, под которым луч излучается антенной. Эта зависимость при определенной длине волны и определенной концентрации СКХ, т. е. для определенного времени дня, изображена на рис. 13. Горизонтальный луч распространяется наиболее далеко. Чем более близок излученный луч к вертикали, тем более приближается луч, отраженный на землю, к генератору (например, точка падения луча *6*). Наконец, при еще

более вертикальном излучении (луч *9* и следующие) лучи проникают сквозь слой. Расстояние между генератором и точкой падения на землю *6* определяет радиус мертвой зоны вокруг передатчика,

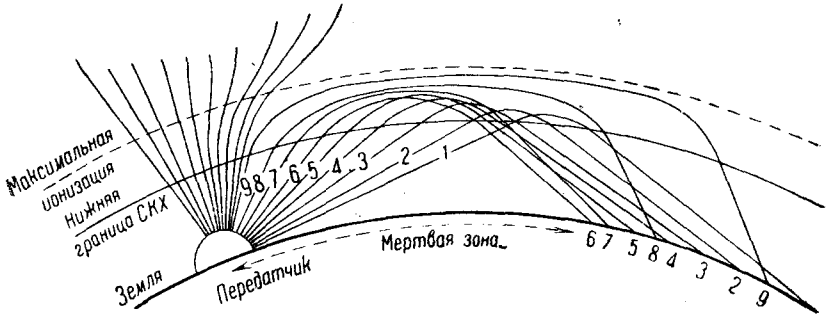

Рис. 13. Ход лучей в зависимости от угла излучения.

внутри которой прием совершенно отсутствует, если горизонтальное излучение отсутствовало. Таким образом радиус мертвой зоны зависит от длины волны и времени дня. Зависимость от длины

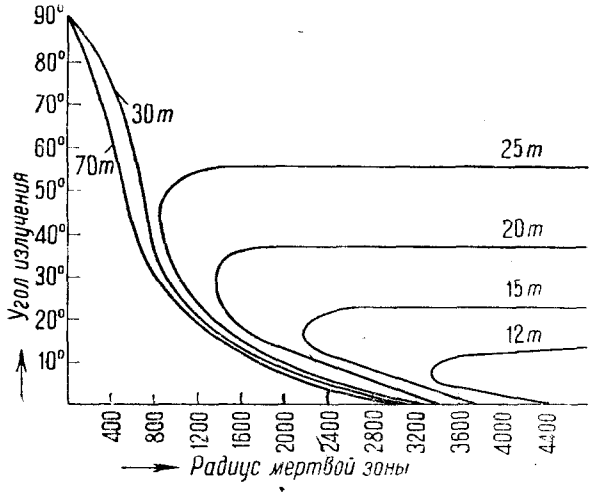

Рис. 14. Зависимость радиуса мертвой зоны от угла излучения и длины волны (в дневное время).

волны и от угла излучения изображена на рис. 14, показывающем, например, что при 20-метровой волне мертвая зона имеет днем радиус около 1 500 *км* (угол излучения около 30°); при длине волны в 30 *м* и больше мертвая зона вообще отсутствует.

Таким образом для обеспечения беспрерывной связи применяемая длина волны должна меняться со временем дня, причем затруднения

в выборе длины волны будут тем больше, что при больших расстояниях на промежуточных участках мы имеем совершенно различные времена суток. Практически было найдено, что в течение дня пригодны волны от 14 до 18 *м*, в сумерки — от 18 до 25 *м* и ночью от 25 *м* и длиннее.

Максимальный радиус действия, возможный теоретически, составляет при 20-метровой волне 5 000 *км*. Этот результат кажется противоречащим практическим данным, свидетельствующим о воз-

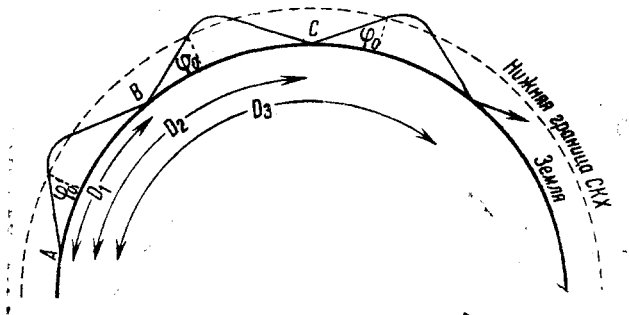

Рис. 15. Ход луча при многократном отражении.

можности перекрытия значительно больших расстояний. Ферстерлинг и Ляссен преодолели это противоречие, допуская существование различных коэфициентов затухания на различных участках пути луча, и возможность многократных отражений луча между СКХ и земной поверхностью. При многократном отражении, изображенном на рис. 15, можно показать, что в наиболее удаленных местах приема возникают значения поля, превосходящие примерно в 10 000 раз значение поля, которое получилось бы при простом однократном отражении луча от СКХ.

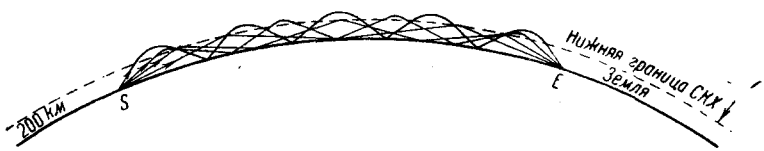

Рис. 16. Расщепление луча при многократном отражении.

Наблюдения при связи на далекие расстояния, в частности, между Гельтовом (у Науена) и Буэнос-Айресом [15], обнаружили существование многократных отражений. При работах на этой линии наблюдались расщепления единичных сигналов на 5 и даже 10 отдельных сигналов, быстро следовавших друг за другом. Это явление может быть объяснено тем, что при многократном отражени, благодаря различным углам излучения антенны, получаются различные пути лучей, вроде изображенных на рис. 16. Разность хода лучей соответствует разности во времени при приеме сигнала.

Наблюдение двойного обратного сигнала, подробно описанное Квеком и Мегелем [16], судя по величине разности во времени, также может быть объяснено многократными отражениями между СКХ и земной поверхностью. На рис. 17 изображена осциллограмма этого явления, записанная в Гельтове. Кроме сигнала a, пришедшего из Буэнос-Айреса по кратчайшему пути, записан сигнал, пришедший в противоположном направлении (a_1), вслед за которым через 0,138 сек. записан второй сигнал (a_2). По мнению Ферстерлинга и Ляссена, этот сигнал не может быть объяснен единичным длительным пребыванием луча в СКХ, но должен быть приписан по крайней мере 10-кратному отражению от СКХ и земной поверхности, причем сигнал еще раз обежал вокруг земного шара.

Оба приведенные примера показывают, каким образом допущение наличия ионизированного слоя, влияющего на распространение волн, может объяснить загадочные явления распространения. Ввиду чрезвычайной трудности вопроса (достаточно вспомнить, что верхние слои атмосферы доступны только косвенным наблюдениям) делается вполне понятным, что до сих пор не удалось дать исчерпывающего объяснения всем явлениям. Так, например, кроме вышеописанного косвенного сигнала, наблюдаются также сигналы, которые, повидимому, претерпевали какое-то отражение в мертвой зоне, и принимались как эхо посланной телеграммы; наблюдалось также „мировое эхо“ с разностью времен до 30 сек. Предприняты опыты, ставящие целью объяснение этих явлений; однако, вероятно, потребуется накопление большого экспериментального материала, прежде чем можно будет решить эти сложные вопросы. Для получения больших радиусов действия при связи на коротких волнах СКХ играет колоссальную роль, но внезапные быстрые изменения состояния этого слоя вызывают чрезвычайно неприятные резкие колебания напряженности поля в месте приема; причину этих изменений состояния СКХ следует искать в корпускулярном излучении и в возмущениях земного магнитного поля. Напряженность поля в месте приема определяется интенсивностями, которые имеют сигналы, приходящие к приемнику различными путями; не все лучи излучаются антенной под одинаковыми углами, кроме того длина пути луча зависит от частоты.

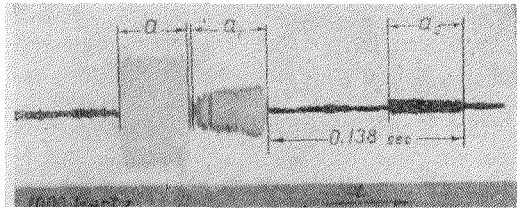

Рис. 17. Двойной косвенный сигнал.

Если на пути луча изменяется высота СКХ или поглощающая способность его, то при благоприятных условиях в место приема все лучи могут притти с одинаковым ослаблением интенсивности,

которое вызовет общее уменьшение силы приема; в этом случае говорят об общем замирании передачи. Этому общему замиранию можно противопоставить различные меры борьбы с ним в самом приемнике. Но состояние СКХ может также изменяться таким образом, что лишь отдельные частоты, например, несущая частота или боковые частоты, испытают влияние этих изменений. В этом случае изменится сила приема только этих частот. Это явление называют селективным замиранием. Причиной его может быть, например, влияние земного поля на вращение плоскости поляризации рассматриваемой волны. Другое явление замирания — местное замирание (Nahschwund) обусловлено интерференцией луча, приходящего от слоя Кеннели-Хивисайда, и земного луча, приходящего непосредственно от передатчика; это явление может наблюдаться при связи на больших расстояниях. Частичное ослабление луча, приходящего от слоя Кеннели-Хивисайда, и называют местным замиранием.

Кроме борьбы с замиранием в самом приемнике, значительную помощь оказывает установление специальных передающих и приемных антенн, позволяющее на незначительных расстояниях получить свободный от замирания прием, причем волны короче 10 *м* оказываются в этом случае очень благоприятными. Нужно, однако, считаться с тем, что это преимущество приобретается за счет уменьшения радиуса действия, что во многих случаях нежелательно.

2. Весьма короткие электрические волны. Волны меньше 10 *м* проникают сквозь СКХ даже при наклонном падении. Таким образом здесь не получается луча, отраженного к земле. Непосредственный земной луч также невыгоден для связи, так как эти короткие волны поглощаются даже незначительными препятствиями, вроде деревьев, домов и т. д., вследствие чего даже при больших мощностях интенсивность приема падает ниже пределов чувствительности приемника уже на расстоянии 1 — 2 *км*. Опыты показывают, что, например, трехметровый передатчик, установленный у подножья холма высотой в 69 *м*, был слышен лишь на 8 *м* ниже вершины (с противоположной стороны холма)[17].

Таким образом весьма короткие волны пригодны для связи лишь в тех случаях, когда между передатчиком и приемником нет никаких препятствий и между ними можно провести прямую, не искажаемую кривизной земной поверхности[18]. Электрические лучи распространяются прямолинейно, подобно световым лучам. Но в противоположность последним, электрические лучи до 10 *см* длиной способны проникать сквозь туман, позволяя осуществлять связь в подобных условиях. Таким образом прозрачность среды для весьма коротких волн не связана с ее оптической прозрачностью.

Благодаря малости длины волны, весьма короткие волны могут легче концентрироваться в направленные пучки, чем короткие волны Для этой цели можно пользоваться отражающими антеннами но при наиболее коротких волнах предпочтительнее применять пара болические зеркала. Вследствие незначительного рассеяния и воз можности установления аналогичных концентрирующих приспосо

лений у приемника, даже при незначительных мощностях можно получить довольно большой радиус действия.

Исследования распространения, произведенные с передатчиком, собранным по схеме Эзау и имевшем длину волны 3,2 *м*[19], установленным на башне, расположенной на высоте 1 140 *м*, показали, что практический радиус действия оказался равным 110 *км*, что соответствовало и теоретической величине радиуса видимости. Далее лежала диффракционная зона шириной 6—15 *км*. Замечательно, что изменение энергии передатчика в отношении 80 : 1 не оказало существенного влияния на силу приема, что вполне соответствует законам оптики.

Маркони[20], работая с передатчиком мощностью в 10 *вт*, дававшим длину волны от 57 до 26 *см*, установленным на берегу моря на горе высотой 750 *м*, осуществил связь с пароходом, удаленным на 97 *км*, что соответствовало оптической видимости. Далее лежала диффракционная зона, простиравшаяся до 130 *км*. В этой зоне прием сопровождался сильными явлениями замирания.

Мы видим, что в обоих случаях наблюдается диффракционная зона, в которой существуют явления замирания. Таким образом отсутствие замираний наблюдается лишь в зоне оптической видимости. Возникновение диффракционной зоны может быть объяснено искривлением лучей слоями испарений, расположенными над земной поверхностью. Изменения состояния этих слоев, повидимому, вызывают явления замирания.

Таким образом радиус действия весьма коротких волн, в котором обеспечен надежный прием, определяется радиусом оптической видимости. Возможность использования этих волн мы иллюстрируем несколькими примерами.

Для военных целей чрезвычайно пригодна связь между небольшими военными единицами на весьма коротких волнах, тем более, что они обеспечивают надежный прием лишь на небольших расстояниях, а возможность их концентрации способствует сохранению тайны передачи.

Для навигационных целей как в водном, так и в воздушном сообщении предложен ряд методов использования весьма коротких волн[21]. Способность лучей проникать сквозь туман делает их весьма применимыми для ориентировки кораблей при входе в гавань при помощи радиосигналов, а также для указания направления посадки самолетов. В качестве примера рассмотрим радиомаяк, разработанный фирмой Лоренц[22] (рис. 18). Дипольная антенна, колеблющаяся на половине длины волны, непрерывно возбуждается генератором. В плоскости излучающего диполя располагаются два отражающих диполя (рефлекторы), которые с определенным ритмом замыкаются и размыкаются таким образом, что во время замыкания одного другой оказывается разомкнутым. Замкнутый рефлектор отклоняет луч главного диполя в сторону разомкнутого рефлектора. Если переключения происходят так, что для левой антенны соблюдается ритм —·—·—·, то правая антенна замыкается в том же ритме во

время размыкания левой, так что для нее получается ритм · — — · —. Если самолет подлетает слева от маяка, то он слышит сигнал · · — · — —, если же он прилетает справа, то сигналы имеют ритм — · · — ·; наконец, если он летит как раз перпендикулярно плоскости, в которой расположены антенны, и движется прямо на среднюю антенну, то оба сигнала складываются в непрерывный сигнал — — — — . Таким образом пилот определяет правильное направление посадки. При семиметровом передатчике мощностью в 2 *вт* радиус действия достигает 4—5 *км*, а угол раствора луча, определяющего правильное направление, составляет 2—3°. Помимо указания направления посадки оказывается возможным, пользуясь подходящим распределением поля излучаемых волн в комбинации с измерителем силы поля, указывать самолету точку приземления, что обеспечивает правильный угол снижения самолета [23].

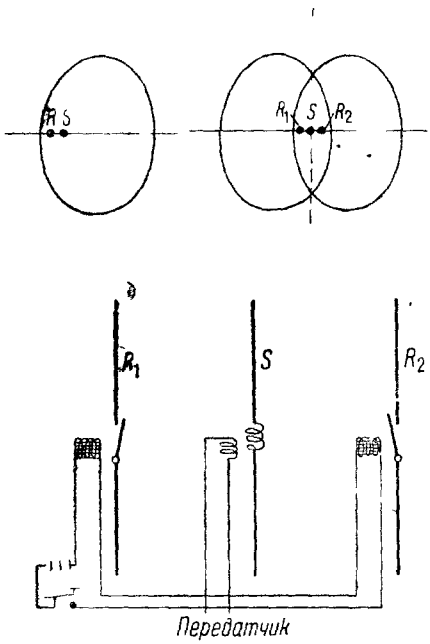

Рис. 18. Радиомаяк для определения направления посадки самолета.

Этот пример достаточен, чтобы доказать, что использование весьма коротких волн в радиосвязи не только возможно, но и необходимо.

Наконец, в рамках настоящего реферата можно лишь указать на применимость коротких волн для исследования молекулярного строения материи (дисперсия, абсорбция), а также для медицинских целей (избирательное нагревание растворов и тканей) [24].

Использование теплового эффекта коротких и весьма коротких волн*.

Короткие волны могут быть использованы в терапии путем прогревания организма в поле конденсатора коротковолнового контура. Это прогревание представляет по сравнению с обычным диатермическим прогреванием (при $\lambda = 300—600$ *м*) известные преимущества: во-первых, возможно прогревание объекта без непосредственного контакта с пластинами конденсатора, так как емкостное сопротивление воздушного зазора при столь высоких частотах очень

* Этот параграф написан переводчиком.

мало; благодаря этому делается возможным прогревание открытых ран, нарывов и т. д., недоступное обычной диаметрии. Во-вторых, распределение тепла в тканях организма резко отличается от распределения тепла при диатермических частотах. Действительно, рассматривая ткань как полупроводник с диэлектрической постоянной ε и электропроводностью σ, и предполагая, что ткань взята в виде плоскопараллельного слоя площади S и толщины d, находящегося в однородном поле, легко показать, что количество тепла, выделяющегося в ней, будет пропорционально величине

$$q = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{\varepsilon}{2\sigma\lambda}\right)^2}; \qquad (1)$$

при длинных волнах член, стоящий в скобках, невелик, так что тепловыделение определяется практически только σ, при коротких же волнах начинает сказываться влияние ε; при неизменной величине ε максимальное тепловыделение произойдет в той ткани, электропроводность которой удовлетворяет соотношению:

$$\sigma = \frac{\varepsilon}{2\lambda}.$$

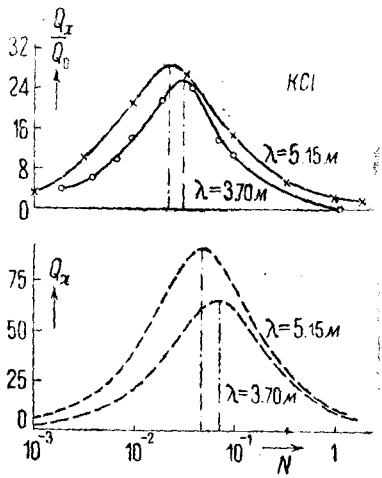

Рис. 19. Нагревание электролитов на электрическом поле коротких волн.

Экспериментальная проверка уравнения (1), произведенная при измерении нагревания водных растворов с постепенно изменяющейся концентрацией растворенного вещества (NaCl, KCl и др.), дает вполне удовлетворительные результаты; [24,25] это видно из рис. 19, где по оси ординат отложено повышение температуры, по оси абсцисс — концентрация; пунктирные кривые представляют теоретически вычисленные значения нагревания, сплошные же кривые — экспериментальные данные для двух различных длин волн. Смещение экспериментальной кривой относительно теоретической объясняется тем, что при построении теоретической кривой значения ε и σ брались из таблиц, а не определялись экспериментально.

Исходя из данных о ε и σ различных составных частей организма, полученных при более низких частотах (измерений при весьма коротких волнах до настоящего времени не имеется), можно показать, что максимум нагрева ряда тканей и органов лежит как раз в области весьма коротких волн [26]. Подсчет нагревания [27] по формуле (1) приводит к значениям тепловыделения, изображенным на рис. 20. Из этого рисунка ясно выявляются два основных факта: изменение распределения тепловыделения и уменьшение его абсолютной величины по мере укорочения длины волны. Разумеется,

подобный подсчет является приближенным, поскольку в нем совершенно не учтена возможность существования дисперсионной области изменения диэлектрической постоянной веществ, обладающих дипольными молекулами, между тем, как есть ряд оснований ожидать возможности дисперсии как раз в этом интервале волн[28].

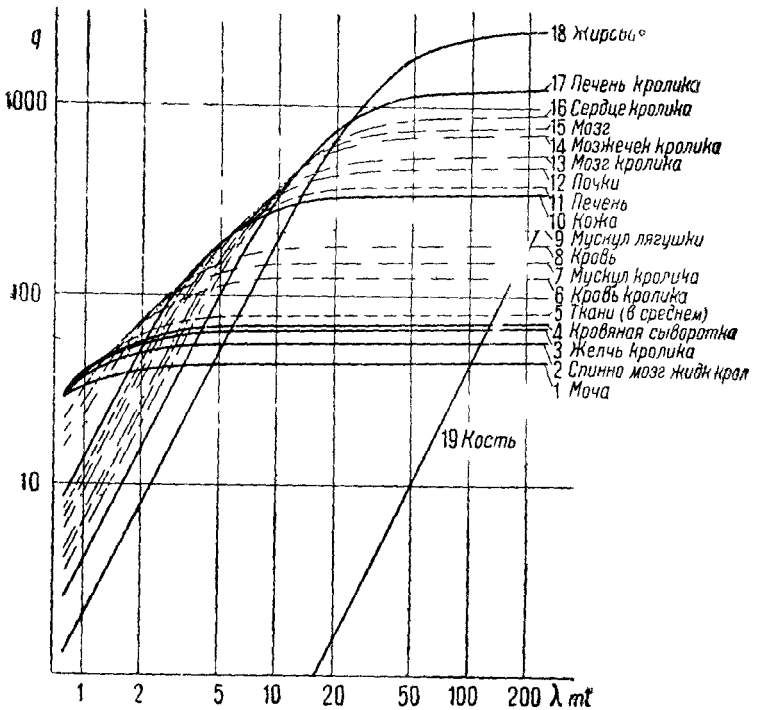

Рис. 20. Тепловыделение в составных частях организма при разных длинах волн.

Исследование нагревания диэлектриков в электрическом поле весьма коротких электрических волн позволяет проверить теорию Дебая и расширить, таким образом, наши знания о строении вещества[29].

Что касается биологического действия коротких и весьма коротких волн и их терапевтического использования (последняя область требует мощностей порядка десятков, даже сотен ватт, так что волны, короче 3 *м*, еще не нашли применения в терапии), то эта тема выходит за рамки настоящего реферата; интересующихся этим вопросом отсылаем к оригинальным работам [30], [31], [32], [33].

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Kohl, Erg. d. exakt. Naturw. **9**, 275, 1930.
2. K. Försterling und H. Lassen, Z. techn. Phys. **12**, 453, 502, 1931; s. a. H. F. Techn u. El. Ak. **42**, 158, 1933.
3. H. E. Hollmann, Sitz-Ber. d. Preuss. Akad. d. Wiss., Phys.-Math. Kl. **6**, 294, 1933. Ref. in H. F. Techn. u. El. Ak, **42**, 32, 1933.
4. О лампах для $\lambda < 1$ *м*, применимых в схемах с обратной связью, см. B. J. Thompson and G. M. Rose, J. Proc. Inst. Rad. Eng **21**, 1707, 1933; Zus. Ber. über Röhren s. W. E. Rühle, Telef.-Ztg. **13**, Nr. 61, S. 5, 1932.
5. A. Esau und W. Köhler, H. F. Techn. u. El. Ak. **41**, 153, 1933.
6. H. Wechsung, H. F. Techn. u. El. Ak. **31**. 176, 1928.
7. H. G. Möller, E. N. T. **7**, 293, 1930; E. W. Helmholtz, E. N. T. **10**, 181, 1933.
8. A. Schreibe, H. F. Techn. u. El. Ak. **27**, 1, 1926.
9. RS 296; Rühle a. a. O.
10. G. Marconi, Alta Frequenza, Märzheft 1933.
11. H. E. Hollmann, H. F. Techn. u. El. Ak. **42**, 89 u. 185, 1933; s. a. Thompson u. Rose, a. a. O.
12. О влиянии солнечных пятен см. у H. Mögel, Telef. Z. **14**, Nr. 65, S. 27, 1933
13. John T. Henderson, H. F. Techn. u. El. Ak. **42**. 79, 1933.
14. Об измерении высот см. B. G. Goubau u. J. Zenneck, H. F. Techn. u. El. Ak. **40**, 77, 1932, ebenda **41**, 77, 1933.
15. Сводку см. у O Böhm, Telef. Z. **10**, Nr. 53, S. 9. 1929.
16. E. Quäck u. A. Mögel, E N. T. **6**, 45, 1929.
17. K. Stoye, H. F. Techn. u. El. Ak. **35**, 235, 1930.
18. F. Schröter, E. N. T. 7, **1**, 1930. — W. Hahnemann, ebenda S. 18. — F. Schröter, E. N. T. **8**, 431, 1931.
19. F. Gerth u. W. Scheppmann, H. F. Techn. u. El. Ak. **33**, 23, 1929.
20. A. a. O.
21. W. Hahnemann, a. a. O.
22. F. Kramar, E. N. T. **9**, 469, 1932.
23. E. Kramar, E. N. T. **10**, 451, 1933.
24. N. N. Malov, H. F. Techn. u. El. Ak. **42**, 190, 1933.
25. J. Pätzold, Z. Hochfrequenz **36**, 83, 1930.
26. J. Pätzold, Z. techn. Phys. **13**, 212, 1932.
27. N. Malov, Physik. Z. **34**, 883, 1933.
28. П. Дебай, Полярные молекулы.
29. H. Bleck, Physik. Z. **34**, 721, 1933.
30. E. Schliephacke-Kurzwellentherapie, Berlin 1932.
31. E. Raab, Die Kurzwellen in der Medirin, Berlin 1933.
32. Pflomm-Arch. klin. Chirurgie, **166**, 251, 1931.
33. Н. Малов, Курортология и физиотерапия, **12**, № 1 — 3 — 5, 1934.