

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

К. М. КОСИКОВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ВОЛН ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ИОНОСФЕРЫ**

(Представлено академиком М. В. Шулейкиным 28 V 1939)

Оптимальной или наивыгоднейшей волной для радиосвязи между двумя пунктами следует считать такую волну, которая имеет меньше потерь при проникновении сквозь нижние ионизированные слои и которая хорошо отражается от верхних слоев  $F$ . Теория и опыт показывают, что потери в нижних слоях будут тем меньше, чем короче будет длина применяемой волны. С другой стороны, волна хорошо будет отражаться от верхних слоев при достаточной ее длине.

Таким образом понизированные слои—верхний отражающий и нижние поглощающие—в известной мере обуславливают взаимнопротивоположные одно другому требования. Эти два требования математически выражаются так:

$$E = \frac{3 \cdot 10^5 \sqrt{W}}{\alpha} e^{-K\lambda d}, \quad (1)$$

$$f_p = \frac{f_{кр}}{\varphi(\gamma)}, \quad (2)$$

где  $K = F(N, S)$ ,  $N$ —электронная плотность слоя  $E$ ,  $S$ —число столкновений в слое  $E$ ,  $d$ —расстояние в км,  $W$ —мощность в kW,  $f$ —рабочая частота,  $f_{кр}$ —критическая частота при прямом падении на слой,  $\gamma$ —угол падения луча на слой (фиг. 1).

Из выражения (1) можно видеть, что сила приема будет тем больше, чем короче длина применяемой волны. Отсюда очевидно, что оптимальной волной будет наиболее короткая волна из тех, которые удовлетворяют соотношению (2).

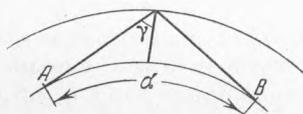
Очевидно также, что оптимальная волна зависит от расстояния между двумя пунктами и будет непрерывно изменяться, следуя за изменением электронной плотности и высоты отражающего слоя.

Определение оптимальной волны поэтому представляет большое практическое значение. Многочисленные измерения напряженности поля станций разных направлений, ведущиеся в Научно-исследовательском институте связи Народного комиссариата связи СССР, показывают, что затухание волн лучше учитывается выражением (1), если длина волны  $\lambda$  в показателе экспоненциального множителя берется в степени, равной единице. Мы не знаем с достаточной достоверностью, как распределяется затухание волн между различными слоями ионосферы, и поэтому поглощение мы

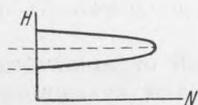
относим в основном к слою  $E$ . По этим же причинам коэффициент поглощения  $K$ , являясь эмпирическим, учитывает влияние всех слоев в совокупности. Однако для дня величина этого коэффициента удовлетворительно следует за плотностью слоя  $E$ . Если принять, что высота слоя  $E$  остается почти одинаковой, то очевидно изменение величины коэффициента  $K$  будет зависеть именно от плотности слоя  $E$ . Отсюда не представляет больших затруднений получить зависимость между абсолютными величинами этого коэффициента и высотой солнца над горизонтом.

Поскольку выражение (1) ориентирует нас на наиболее короткую волну, то особенно важным является определение максимальных рабочих частот. Электронная плотность и высота максимальной плотности непрерывно изменяются. Причиной этих изменений, как известно, служат: а) изменение радиации; б) расширение и сжатие атмосферы вследствие нагревания и охлаждения. Разница электронных плотностей и высот слоев в одни и те же часы для разных дней может достигать значительных величин даже в относительно спокойные дни.

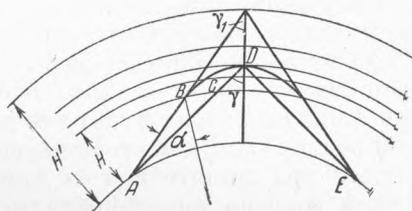
В такого рода условиях определение максимальной рабочей частоты приобретает особенно важное значение, так как работа на минимальной



Фиг. 1.



Фиг. 3.



Фиг. 2.

волне имеет ряд преимуществ: 1) на максимальной частоте сила приема больше, что следует из выражения (1), которое подтверждается многочисленными измерениями; 2) на наиболее высоких частотах меньше влияние атмосферных помех; 3) при работе наиболее высокими частотами значительно меньше помех от других станций, что обуславливается как условиями распространения, так и меньшей занятостью диапазона более высоких частот; 4) при работе на наиболее высоких частотах меньше влияние эхо-сигналов, что важно при фототелеграфных связях и при работе телеграфом очень высокими скоростями.

Измерения критических частот и действующих высот ионосферы позволяют с достаточной точностью определять максимальные рабочие частоты, если нам известны расстояние и направление линии связи. В соответствии с законами геометрической оптики и законами отражения волн это определение можно было бы произвести по выражению:

$$f = \frac{f_{кр}}{\cos \gamma}, \quad (3)$$

где  $f_{кр}$ —критическая частота при прямом падении волны на слой,  $f$ —критическая частота при косом падении волны на слой,  $\gamma$ —угол падения волны на слой.

Однако в действительности мы имеем дело со средой, имеющей переменный показатель преломления, и поэтому выражение (3) по видимому требует некоторой корректировки. В самом деле, если  $H$ —высота максимальной электронной плотности,  $\alpha$ —угол падения волны на нижнюю гра-

ницу отражающего слоя (фиг. 2), то отражение волны может быть характеризовано углом  $\gamma_1$  и высотой  $H^1$ . Эта высота является при косом падении фиктивной и поэтому для пользования мало удобна. Удобнее пользоваться высотой  $H$ , которую для любого времени суток можно получать путем измерения критических частот.

Можно допустить, что луч падает на ионизированный слой не в точке  $B$ , а в точке  $C$  и отражается в точке  $D$  под углом  $\gamma$ . Для перехода от угла  $\gamma_1$  к углу  $\gamma$  очевидно мы могли бы написать выражение (3) в следующем виде:

$$f = \frac{f_{кр}}{\frac{\cos \gamma_1}{\cos \gamma}}. \quad (4)$$

Обозначим отношение:  $\frac{\cos \gamma_1}{\cos \gamma} = q$ . Нетрудно представить, что величина  $G$  будет зависеть от градиента электронной плотности.

Расчеты показывают, что, беря разную толщину  $z$  (фиг. 3) ионизированного отражающего слоя  $F$ , при параболической форме нижней его границы мы получим  $q = 1.25 - 1.45$ .

Беря  $q = 1.35$  (среднюю величину между упомянутыми), мы получаем сравнительно удовлетворительное совпадение с действительным прохождением радиоволн. Очевидно, что для слоя  $E$  этот коэффициент должен быть меньше. Он приблизительно равен 1.1.

Выражение

$$f^p = \frac{f_{кр}}{\cos \gamma \cdot q} \quad (4')$$

может быть представлено в виде графиков.

Зная критическую частоту и высоту максимальной электронной плотности ионизированного отражающего слоя, при помощи графиков, составленных по выражению (4'), немедленно определяем максимальную частоту, которая отражается от слоев  $F$ ,  $F_2$  или от слоя  $E$ . Удобство применения этого способа заключается в том, что расчетные графики строятся раз навсегда и часто бывают пригодны для применения во время возмущения ионосферы, когда критические частоты и высоты отражения изменяются. Такого рода графики годны также для применения при отражении волн в точках со значительной разницей по широте.

Применение таких графиков при осуществлении радиосвязей в Московском радиотехническом узле производится с начала 1938 г. (Разработка метода начата была с осени 1937 г.) Результаты расчета по приведенной формуле дают расхождение с графиками, публикуемыми в Proc. I.R.E., в пределах 5—10%.

Ценные указания по данной работе были получены от академика М. В. Шулейкина.

Научно-исследовательский институт связи  
Народного комиссариата связи СССР.

Поступило  
20 V 1939.