

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

### К ВОЗМОЖНОСТЯМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ

Я. С. Родионов

Возможность моделирования распространения поверхностной волны представляет значительный интерес с точки зрения теории, практики, а также методики преподавания распространения радиоволн. Заметим, что громоздкость опытов по изучению распространения радиоволн в естественных условиях часто являлась препятствием, задерживающим изучение процесса, как это было, например, в проблеме распространения радиоволн вдоль неоднородной трассы.

Для моделирования процесса распространения земной волны была использована установка, работающая на волне  $\lambda = 3,2$  см. В качестве почвы был взят сухой песок. Для этой волны размеры первой зоны Френеля незначительны и размеры ящика не слишком велики. Установка состояла из измерительного генератора 31-И с передающей антенной, укрепленной на торце ящика (антенна—открытый конец волновода), ящика (90×18×25 см) из толстой фанеры (железные гвозди только внизу, в середине стяжка для жесткости), приемной антенны с детекторной секцией (антенна—открытый конец изогнутого волновода), усилителя 28-И и набора металлических пластин для имитации хорошо проводящей поверхности как на всей трассе, так и на части трассы.

Характеристика детектора—квадратичная, и, следовательно, показания прибора пропорциональны принимаемой мощности. Все теоретические расчеты производились по формулам, приведенным в работе [1], отсюда же взяты номера формул на кривых.

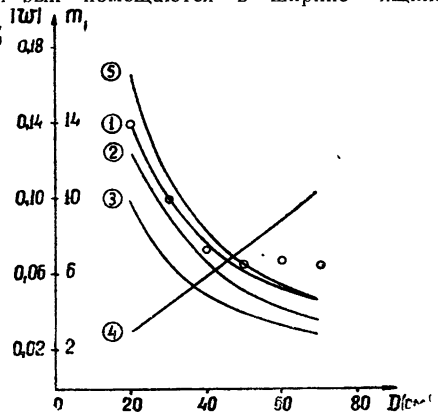
Ниже приводятся некоторые количественные данные, показывающие возможности установки.

а) *Определение параметров почвы.* Экспериментально определялся коэффициент ослабления при распространении над песком. Путем сравнения с теоретическим коэффициентом ослабления найдено значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon = 5,6$ .

На рис. 1 представлена зависимость модуля коэффициента ослабления  $|w|$  и числа зон Френеля  $m$ , малые полуоси  $b_m$  которых помещаются в ширине ящика, от расстояния между передающей и приемными антеннами  $D$ . Из сопоставления теоретических кривых с экспериментальными данными видно, что для данной уста-

Рис. 1. Определение диэлектрической постоянной по поглощению:

1) теоретическая кривая коэффициента ослабления для  $\epsilon = 5,6$  ( $|S| = 0,15$  см<sup>-1</sup>); 2) теоретическая кривая коэффициента ослабления для  $\epsilon = 5$ ; 3) кривая зависимости количества зон Френеля ( $m$ ), малые полуоси ( $b_m$ ) которых укладываются в ширине ящика; 4) зависимость модуля численного расстояния ( $SD$ ) от расстояния при  $|S| = 0,15$  см<sup>-1</sup>; 5) теоретическая кривая коэффициентов поглощения, вычисленная по упрощенной формуле (27.19) при  $|S| = 0,15$  см<sup>-1</sup>. Кружочками обозначены экспериментальные точки.  $D$ —расстояние от передающей антенны.



новки достаточно хорошие количественные результаты получаются до расстояний порядка 50 см (т. е. до  $m = 4$ ).

При помещении ящика с песком между передающей и приемной антеннами было установлено, что 18-сантиметровый слой песка ослабляет напряженность поля в 4,9 раза. Отсюда получаем проводимость  $\sigma = 10^9$  CGSE. В литературе приведены следующие значения  $\epsilon$  и  $\sigma$  для сухого песка при  $\lambda = 9$  см:  $\epsilon = 2$ ,  $\sigma = 3 \cdot 10^6$  CGSE [1].

б) *Кусочно-однородная трасса.* На рис. 2 приведены результаты измерения поля для трассы песок—металл—песок. Теоретическая кривая совмещена с экспериментом в точке, соответствующей  $D=20$  см. На рис. 3 показано влияние прилегающих к антеннам площадок («взлетно-посадочных площадок») и коэффициента заполнения

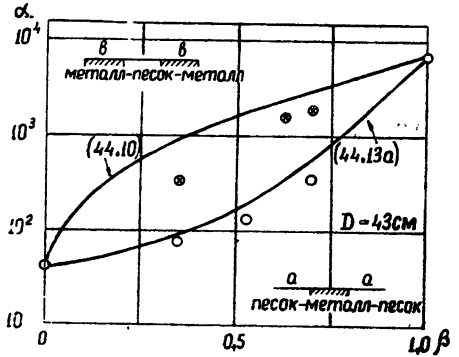
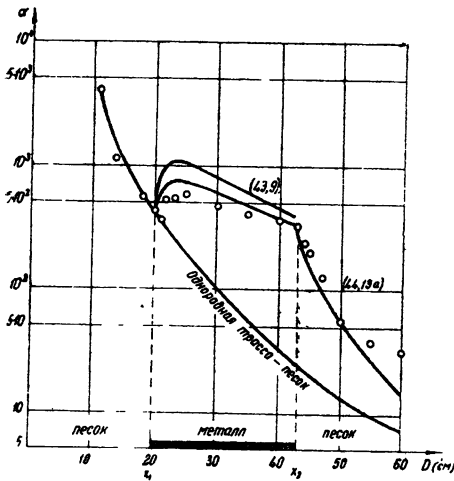


Рис. 3. Влияние «взлетно-посадочных» площадок и коэффициента заполнения трассы  $\beta$  на поле;  $a$  — показания прибора в делениях;  $l = 2b$  (верхняя кривая),  $l = D - 2a$  (нижняя кривая).

Рис. 2. Влияние неоднородности трассы на поле;  $\alpha$  — показания прибора в делениях,  $D$  — расстояние от передающей антенны.

трассы металлом  $\beta = l/D$ , где  $l$  — часть трассы, заполненная металлом. Теоретические кривые совмещены с экспериментом в точке, соответствующей значению  $\beta=0$ .

Для вычисления были использованы следующие формулы (см. [1]):

$$W_2(D) = -\frac{1}{2S_1D} \left( 1 + \frac{2i}{\sqrt{\pi}} \sqrt{S_1(D-x_1)} \sqrt{\frac{D}{x_1}} \right); \quad (43.9)$$

$$W_3(D) = -\frac{1}{\pi S_1D} \left\{ \sqrt{\frac{D(x_2-x_1)}{x_1(D-x_2)}} + \arcsin \sqrt{\frac{x_1(D-x_2)}{x_2(D-x_1)}} \right\}; \quad (44.13a)$$

$$W_3(D) = -\frac{1}{2S_2D} - \frac{i}{\sqrt{\pi S_2D}} \left( \sqrt{\frac{x_1}{D-x_1}} + \sqrt{\frac{D-x_2}{x_2}} \right) + \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{(x_2-x_1)D-x_1(D-x_2)}{x_2(D-x_1)} \right\}. \quad (44.10)$$

(Обозначения  $x_1, x_2$  соответствуют рис. 2.)

Все три формулы являются упрощенными в предположении о больших численных расстояниях  $SD$ , когда коэффициент ослабления над однородной трассой

$$W(D) = -\frac{1}{2SD}. \quad (27.19)$$

При использовании формулы (27.19) для малых численных расстояний коэффициенты ослабления получаются завышенными (рис. 1). Для участка «металл» на рис. 2 расчет выполнен с введением поправки: в формулы вместо  $\frac{1}{2} S_1D$  подставлялся коэффициент  $W(D)$ . Для сравнения на рисунке приведена также кривая, полностью соответствующая формуле (43.9).

Как видно из рис. 2 и 3, совпадение теории с экспериментом получается удовлетворительным.

в) *Другие возможности установки.* При использовании установки в качестве учебной качественно показывалось влияние на величину поля мелких неоднородностей, возвышенностей, подъема над плохо проводящей поверхностью, интерференционный характер поля при высоко поднятых антеннах. При количественных проверках нужно только учитывать зону, существенную для распространения.

Вероятно, при дальнейшей разработке удастся исследовать наклон волны у поверхности, работу подземной антенны, пределы применимости отражательных формул, фазовые соотношения. Однако в этих случаях мы встречаемся с трудностями конструктивного порядка и затруднениями в применении антенн типа «открытый конец волновода».

## ЛИТЕРАТУРА

И. Я. Л. Альперт, В. Л. Гинзбург и Е. Л. Фейнберг, Распространение радиоволн, Гостехиздат, М., 1953.

Поступила в редакцию  
22 апреля 1958 г.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛНЫ СМЕШАННОГО ТИПА В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ

А. С. Смирнова

Как известно [1,2,3], вдоль диэлектрической пластинки, расположенной между металлическими плоскостями, могут распространяться поверхностные (по отношению к диэлектрику) электромагнитные волны. Если пластины изготовлены из малопоглощающего диэлектрика, потери в таких линиях передачи могут оказаться меньше, чем потери в обычных волноводах. Ниже рассматривается распространение поверхностных волн в одном из вариантов систем подобного типа, диэлектрическое заполнение которого выполнено в виде двух пластин, разделенных воздушным зазором (рис. 1).

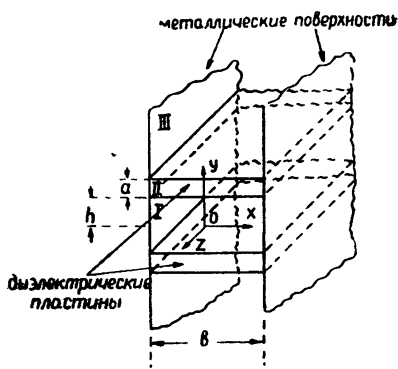


Рис. 1

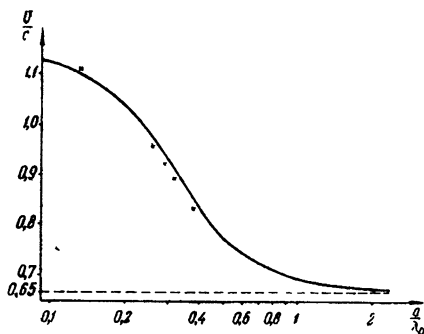


Рис. 2.

В простейшей волне смешанного типа (т. е. имеющей продольные по отношению к направлению распространения  $z$  составляющие магнитного  $H_z$  и электрического  $E_z$  полей) поля могут быть записаны в виде:

$$E_x = -F_1 k_0 \frac{\pi}{b} \sin\left(\frac{\pi}{b} x\right) \text{sh}(k_0 y);$$

$$E_y = F_1 (\omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 + k_0^2) \cos\left(\frac{\pi}{b} x\right) \text{ch}(k_0 y);$$

$$E_z = -j F_1 \alpha k_0 \cos\left(\frac{\pi}{b} x\right) \text{sh}(k_0 y);$$

$$H_x = -F_1 \omega \varepsilon_0 \alpha \cos\left(\frac{\pi}{b} x\right) \text{ch}(k_0 y);$$

$$H_y = 0;$$

$$H_z = -j F_1 \omega \varepsilon_0 \frac{\pi}{b} \sin\left(\frac{\pi}{b} x\right) \text{ch}(k_0 y);$$

Область I