

4. Толстой И, Клей К. Акустика океана. — М: Наука, 1969.
5. Tindle C. T., Cuthrie K. M. — J. Sound Vibr., 1974, 34, p. 291.
6. Cuthrie K. M., Tindle C. T. — J. Sound Vibr., 1976, 47(3), p. 403.
7. Kamel A., Feisen L. B. — J. Acoust. Soc. Am., 1982, 71(6), p. 1445.

Институт прикладной физики  
АН СССР

Поступила в редакцию  
6 января 1984 г.

УДК 537.874.6

## ДИФРАКЦИЯ ПЛОСКОЙ $H$ -ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ВОЛНЫ НА РИШЕТКЕ ИЗ КОАКСИАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ

Ф. Г. Богданов, Г. Ш. Кеванишвили, Э. И. Сикмашвили, О. П. Цагарейшвили,  
М. Н. Чихладзе

В последние годы возрастает интерес к использованию металлодиэлектрических структур, в частности решеток из металлических цилиндров с диэлектрическим покрытием. В [1] подобная решетка исследовалась в решении нулевого приближения, в [2] — для случая  $E$ -поляризации падающей волны. В настоящей работе построено строгое решение дифракционной задачи в случае, когда  $E$ -составляющая падающей волны перпендикулярна к образующим цилиндров.

Исследуемая решетка изображена на рис. 1 в сечении  $XOY$  вместе с используемыми прямоугольной ( $XYZ$ ) и цилиндрическими ( $r, \varphi$ ) системами координат. Элементами решетки являются бесконечно длинные цилиндры с идеальной проводимостью, покрытые диэлектриком с параметрами  $\epsilon, \mu$ . Пусть со стороны положительных  $X$  решетка облучается наклонно падающей (под углом  $\theta$  к оси  $X$ )  $H$ -поляризованной волной

$$H_z = \exp(ikx \cos \theta +iky \sin \theta) \quad (k = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}) \quad (1)$$

(зависимость от времени  $\sim e^{i\omega t}$ ).

Рассеянное поле (с учетом граничных условий на металле) представляется в виде

$$H_{z1} = \sum_{v=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} X_m H_m^{(2)}(kr_v) e^{ikvd \sin \theta} e^{im\varphi}, \quad (2)$$

$(r_v \geq a);$

$$H_{z2}^{(v)} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} Y_m \Psi_m(k_1 r_v, k_1 b) e^{ikvd \sin \theta} e^{im\varphi}, \quad (b < r_v \leq a), \quad (k_1 = \omega \sqrt{\epsilon \mu}), \quad (3)$$

где  $\Psi_m(k_1 r_v, k_1 b) = J_m(k_1 r_v) N'_m(k_1 b) - J'_m(k_1 b) N_m(k_1 r_v)$ ,  $X_m$  и  $Y_m$  — неизвестные коэффициенты.

Используя условия непрерывности на поверхности центрального цилиндра ( $v=0$ ) и теорему сложения для цилиндрических функций, приходим к системе функциональных уравнений относительно неизвестных  $X_m$  и  $Y_m$ :

$$f(\alpha, \varphi, \theta) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} X_m F_m(\alpha, \varphi, \theta) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} Y_m \Psi_m(\alpha_1, \gamma_1) e^{im\varphi}, \quad (4)$$

$$f'(\alpha, \varphi, \theta) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} X_m F'_m(\alpha, \varphi, \theta) = \frac{w_1}{w} \sum_{m=-\infty}^{\infty} Y_m \Psi'_m(\alpha_1, \gamma_1) e^{im\varphi}$$

$$(0 < \varphi < 2\pi),$$

где

$$f(\alpha, \varphi, \theta) = e^{i\alpha \cos(\varphi - \theta)} \quad (\alpha = ka, \alpha_1 = k_1a, \gamma_1 = k_1b),$$

$$F_m(\alpha, \varphi, \theta) = H_m^{(2)}(\alpha) e^{im\varphi} + \sum_{s=-\infty}^{\infty} J_s(\alpha) Z_{m-s}(\beta, \theta) e^{is\varphi} \quad (\beta = kd),$$

$$Z_{m-s}(\beta, \theta) = i^{m-s} \sum_{\nu=1}^{\infty} [e^{-i\beta\nu \sin \theta} + (-1)^{m-s} e^{i\beta\nu \sin \theta}] H_{m-s}^{(2)}(\beta\nu),$$

$\omega = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$  и  $w_1 = \sqrt{\mu/\epsilon}$  — волновые сопротивления соответствующих сред, а штрих означает производную по  $\alpha$  и  $\alpha_1$  соответственно.

Систему уравнений (4) нетрудно трансформировать к дуальной бесконечной системе алгебраических уравнений, которая, после исключения  $Y_m$ , приводится к виду

$$X_n = a_n + \sum_{m=-\infty}^{\infty} X_m Q_{nm} \quad (n=0, \pm 1, \pm 2, \dots), \quad (5)$$

где

$$a_n = -in c_n e^{-in\theta}, \quad Q_{nm} = -c_n Z_{m-n}(\beta, \theta),$$

$$c_n = [J_n(\alpha) \Psi'_n(\alpha_1, \gamma_1) - (w/w_1) \Psi_n(\alpha_1, \gamma_1) J'_n(\alpha)] \{ \Psi'_n(\alpha_1, \gamma_1) [H_n^{(2)}(\alpha) + J_n(\alpha) Z_0(\beta, \theta)] - (w/w_1) \Psi_n(\alpha_1, \gamma_1) [H_n^{(2)'}(\alpha) + J'_n(\alpha) Z_0(\beta, \theta)] \}^{-1}.$$

Система уравнений (5) определяет коэффициенты  $X_m$  мультипольного спектра рассеянной волны. Коэффициенты дифракционного спектра прошедшей и отраженной волны находятся по формулам [3]:

$$B_m = \delta_{m0} + [\pi\sqrt{D^2 - (m+D \sin \theta)^2}]^{-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} i^{-n} X_n e^{in\varphi_m}; \quad (6)$$

$$A_m = -[\pi\sqrt{D^2 - (m+D \sin \theta)^2}]^{-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} i^n X_n e^{-in\varphi_m}, \quad (7)$$

где  $\delta_{m0}$  — символ Кронекера,  $\varphi_m = \arctg \{ (m+D \sin \theta) [\sqrt{D^2 - (m+D \sin \theta)^2}]^{-1} \}$ .

Сходимость алгоритма и устойчивость решения задачи иллюстрирует табл. 1 зависимости модуля коэффициента прохождения  $|B_0|$  от порядка редукции  $N$  для различных параметров решетки ( $\mu = \mu_0$ ):  $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ ,  $s = 2a/d$ ,  $D = d/\lambda$ ,  $b/a$  и  $\theta$  (при  $\theta = 0^\circ$ ,  $s = 0,5$ ).

Таблица 1

Параметры решетки			Модуль коэффициента прохождения			
$\epsilon_r$	$D$	$b/a$	$N=1$	$N=3$	$N=5$	$N=7$
2,1	1,5	0,1	0,76103	0,75212	0,75271	0,75282
		0,5	0,97772	0,79867	0,76602	0,76590
5,4	0,5	0,1	0,98144	0,98685	0,98686	0,98686
		0,5	0,96343	0,94369	0,94369	0,94369
	1,5	0,1	0,91030	0,77843	0,76896	0,76896
		0,5	0,80276	0,75578	0,78563	0,78569
2,5	0,5	0,1	0,61186	0,34212	0,27847	0,28595
		0,5	0,70543	0,56601	0,12910	0,13835

Некоторые результаты численного анализа представлены на рис. 2 и 3 в виде зависимостей модуля коэффициента прохождения от параметров решетки. Из рисунков следует, что рассматриваемая решетка представляет собой резонансную систему, причем резонансные эффекты имеют место по отношению ко всем параметрам решетки

$(s, D, \varepsilon_r, \theta)$ , максимальны при малых  $b/a$  и исчезают с ростом этого отношения. В одноволновой области наблюдаются эффекты полного отражения и прохождения падающей волны, характерные для всех диэлектрических структур [4]

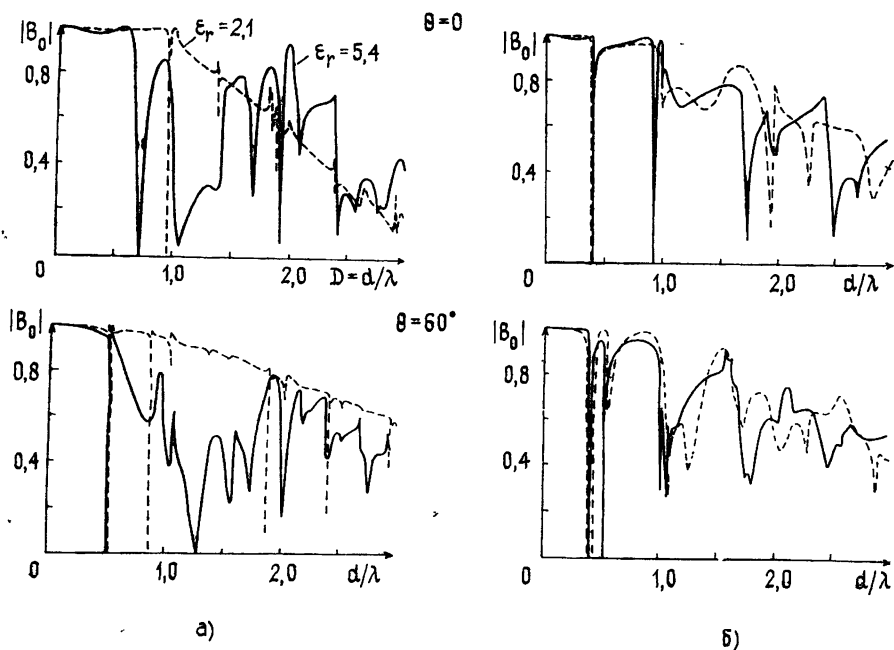


Рис. 2.  
а)  $s=0,5, b/a=0,1$ ; б)  $s=0,5, b/a=0,5$

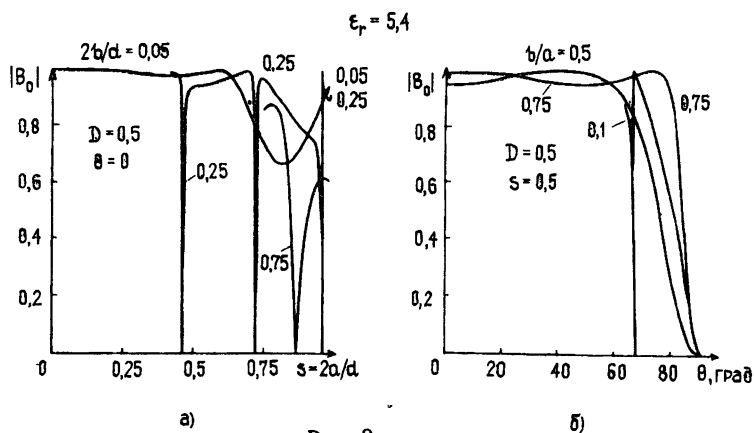


Рис. 3.

Таким образом, рассматриваемая решетка, наряду со свойствами решеток из проводящих элементов [4], обладает свойствами диэлектрических структур и, совмещая в себе эти свойства, представляет интересный объект для антенной техники и других областей техники СВЧ.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Парамонов В К — Радиотехника, 1956, 11, № 9, с. 12.
- 2 Цагарейшвили О. П Тезисы докладов II Всесоюзного симпозиума по миллиметровым и субмиллиметровым волнам. — Харьков, 1978, т. I, с 262.
- 3 Кеванишвили Г. Ш, Цагарейшвили О. П. — Радиотехника и электроника, 1976, 21, № 3, с 498.
- 4 Шестопалов В П, Литвиненко Л И, Масалов С А, Сологуб В. Г. Дифракция волн на решетках — Харьков. Гос. ун-т, 1973.