

**ДИФРАКЦИЯ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ
НА ПРЯМОУГОЛЬНИКЕ С КОМПЛЕКСНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ОТРАЖЕНИЯ,
ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНЫХ УГЛОВ ПАДЕНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ,
ВОЛНЫ ПРИ Н – ПОЛЯРИЗАЦИИ, ДЛЯ $\lambda = 3$ И 10 СМ**

© 2016 г. Д.С. КРАВЧЕНКО, А.К. ЧЕРЕПАНОВ

Московский технологический университет (МИРЭА)
e-mail: Booty1@yandex.ru

При разработке различных комплексов в радиодиапазоне возникает необходимость в исследовании полей рассеяния различными слабо отражающими структурами в безэховых камерах (БЭК). Одна из таких задач может быть приведена к расчету дифракции электромагнитных волн на четырехугольнике с комплексным коэффициентом отражения.

Введение

При разработке различных комплексов в радиодиапазоне возникает необходимость в исследовании полей рассеяния различными слабо отражающими структурами в безэховых камерах (БЭК). Одна из таких задач может быть приведена к расчету дифракции электромагнитных волн на четырехугольнике с комплексным коэффициентом отражения.

При измерениях диаграмм рассеяния различных объектов в БЭК возникают вопросы погрешностей, вносимых отражениями электромагнитных волн от ее внутренней поверхности. Чтобы оценить эти погрешности необходимо найти мощность поля электромагнитной волны, рассеянной стенами, полом и потолком БЭК. Основной деталью внутренней поверхности БЭК прямоугольной конфигурации является четырехугольник из материала, поглощающего радиоволны, поэтому задача о рассеянии электромагнитных волн этой структурой является актуальной.

Таким образом, рассматривается задача о дифракции плоской электромагнитной волны на непрозрачном прямоугольнике с размерами $2a \times 2b$, характеризующем эффективным комплексным коэффициентом отражения, при произвольных углах падения волн. Прямоугольник ограничен контуром, проходящим через точки A, B, C, D .

В данной работе проводится расчет диаграмм мощности и амплитуд для угла облучения в 60° , $\lambda = 3$ и 10 см волн, при Н – поляризации падающей волны (рис. 1).

Постановка задачи

Задача решается с помощью метода физической оптики (ФО), описанного в работе [1] для идеально проводящих тел. Дифракция плоской электромагнитной волны на черных объемных телах и полупрозрачных пластинах (бесконечная лента, диск) рассматривались в работе [2]. Метод ФО применялся в работе [3] для решения задачи о дифракции плоской электромагнитной волны на поглощающем клине. Аналогичный метод ФО был рассмотрен в работах [4,5] для дифракции на непрозрачном прямоугольнике с заданным комплексным коэффициентом отражения при Е – поляризации падающей волны.

В работах [4,5,6] приведены результаты расчетов амплитуд волн, рассеянных четырехугольником, при различной поляризации падающей волны. Однако нет сравнения диаграмм для амплитуд рассеянных волн и диаграмм соответствующих мощно-

стей в то время, как такое сравнение представляет значительный интерес в связи с наглядностью того или иного представления при различных параметрах.

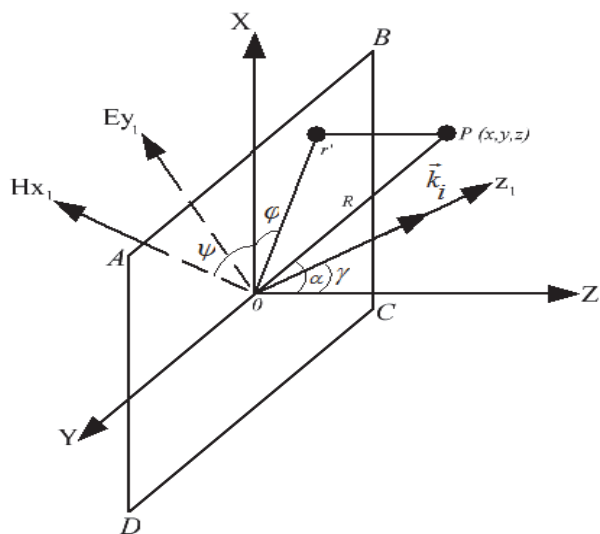


Рис. 1. Геометрия задачи.

На рис. 1 $ABCD$ – рассеивающая площадка, R – расстояние от O до точки наблюдения P , \vec{k}_i – волновой вектор падающей волны, γ – угол падения, φ – угол наблюдения, P – точка наблюдения, \vec{E}_{y_1} и \vec{H}_{x_1} – вектора электрического и магнитного поля, ψ – угол между вектором \vec{E} или \vec{H} и осью X , θ – угол между R и осью Z .

Графики комплексного коэффициента отражения (КО) исследуемого материала при $\lambda = 3$ см представлен на рис. 2, а, б.

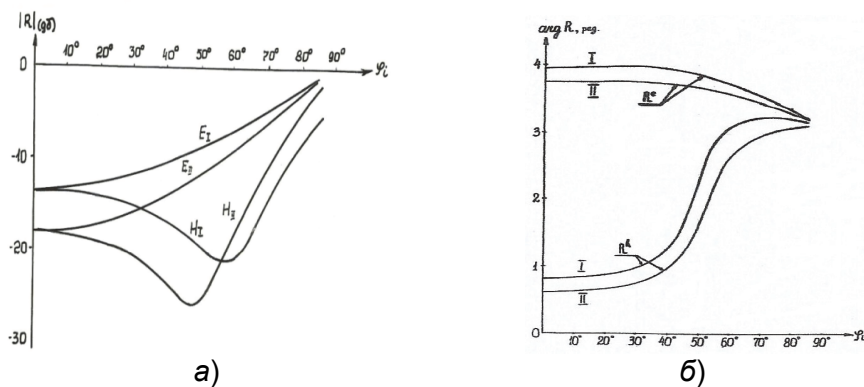


Рис. 2. Графики угловых зависимостей коэффициента отражения (модуль и фаз КО для 10 (I) и 3 (II) сантиметровых волн).

Таблица 1

№	R^h Коэффициент отражения РПМ - II ($\lambda = 3$ см)						
	γ	dB	Модуль КО отн.ед.	Мощность отн.ед.	Фаза	Re (V^h) отн. ед.	Im (V^h) отн. ед.
1	60	-19	0,126	0,0158	2,75	0,126	0,001
	R^h Коэффициент отражения РПМ - I ($\lambda = 10$ см)						
	γ	dB	Модуль КО отн. ед.	Мощность отн.ед.	Фаза	Re (V^h) отн. ед.	Im (V^h) отн. ед.
2	60	-17,2	0,138	0,0191	3,125	0,138	0,003

Расчетные формулы

$$E_x = -ik \frac{e^{ikR}}{R} \cdot \left[Q_p^h(\vartheta, \varphi) \cdot (\sin^2 \vartheta \cos \varphi \sin(\psi - \varphi) - \sin \psi) - Q_m^h(\vartheta, \varphi) \cdot \cos \gamma \cdot \cos \psi \cdot \cos \vartheta \right] \quad (1)$$

$$E_y = -ik \frac{e^{ikR}}{R} \cdot \left[Q_p^h(\vartheta, \varphi) \cdot (\sin^2 \vartheta \sin \varphi \sin(\psi - \varphi) + \cos \psi) - Q_m^h(\vartheta, \varphi) \cdot \cos \gamma \cdot \sin \psi \cdot \cos \vartheta \right] \quad (2)$$

$$E_z = -ik \frac{e^{ikR}}{R} \cdot \sin \vartheta \sin(\psi - \varphi) \cdot (Q_p^h(\vartheta, \varphi) \cdot \cos \vartheta + Q_m^h(\vartheta, \varphi) \cdot \cos \gamma) \quad (3)$$

$$H_x = -ik \frac{e^{ikR}}{R} \cdot \left[Q_p^h(\vartheta, \varphi) \cdot (-\sin^2 \vartheta \cos \varphi \cos(\psi - \varphi) + \sin \psi) - Q_m^h(\vartheta, \varphi) \cdot \cos \gamma \cdot \cos \vartheta \cdot \cos \psi \right] \quad (4)$$

$$H_y = ik \frac{e^{ikR}}{R} \cdot \left[Q_p^h(\vartheta, \varphi) \cdot (-\sin^2 \vartheta \sin \varphi \cos(\psi - \varphi) + \cos \psi) + Q_m^h(\vartheta, \varphi) \cdot \cos \gamma \cdot \cos \vartheta \cdot \sin \psi \right] \quad (5)$$

$$H_z = -ik \frac{e^{ikR}}{R} \cdot \sin \vartheta \cdot \cos(\psi - \varphi) \cdot (Q_p^h(\vartheta, \varphi) + Q_m^h(\vartheta, \varphi) \cdot \cos \gamma \cdot \cos \vartheta) \quad (6)$$

$$\text{где } Q_p^h(\vartheta, \varphi) = \frac{1}{k^2 \pi} \cdot H_{0y1} \cdot (1 - R^h) \cdot G_1(\vartheta, \varphi) \cdot G_2(\vartheta, \varphi),$$

$$Q_m^h(\vartheta, \varphi) = \frac{1}{k^2 \pi} \cdot H_{0y1} \cdot (1 + R^h) \cdot G_1(\vartheta, \varphi) \cdot G_2(\vartheta, \varphi),$$

$$\text{где } G_1(\vartheta, \varphi) = \frac{\sin \cdot [ka \cdot (\cos \beta - \sin \vartheta \sin \varphi)]}{\cos \beta - \sin \vartheta \sin \varphi}, \quad G_2(\vartheta, \varphi) = \frac{\sin \cdot [kb \cdot (\cos \alpha - \sin \vartheta \cos \varphi)]}{\cos \alpha - \sin \vartheta \cos \varphi}.$$

Результаты численных расчетов

По формулам (1 - 6) были проведены численные расчеты, а на рис. 3 - 8 были построены диаграммы амплитуд (а) в отн. ед. и мощности (б) рассеянных электромагнитных волн в децибелах, при H – поляризации падающей волны. Значения R^h - комплексного коэффициента отражения приведены на рис. 2, а, б, при размерах четырехугольника $a = 40$ см, $b = 30$ см, и расстоянии до точки наблюдения $R = 1200$ см

Ориентация плоскости падения волны определяется углами $\psi = \pi/2$, $\varphi = 0$. Направление падения волны определяется направляющими косинусами $\cos \alpha$, $\cos \beta$, $\cos \gamma$ относительно осей координат x, y, z . В случае падения волны в плоскости XOZ $\alpha = \pi/2 - \gamma$, $\beta = \pi/2$, $\gamma = 60^\circ$. Расчеты проводятся для полупространства $0 < \Theta < \pi$.

H – поляризация электромагнитных волн $\lambda = 3$ см

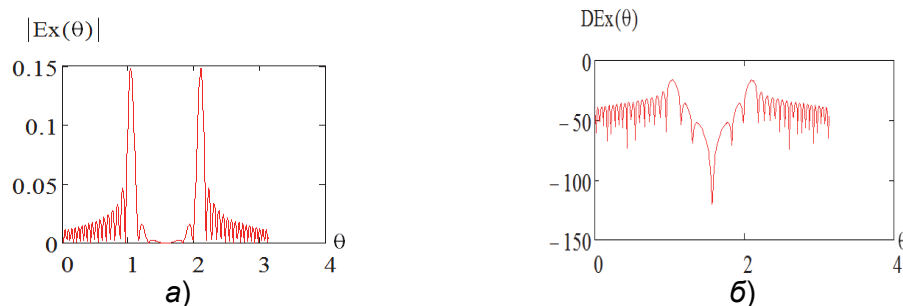


Рис. 3. Диаграммы для $\alpha = 60^\circ$.

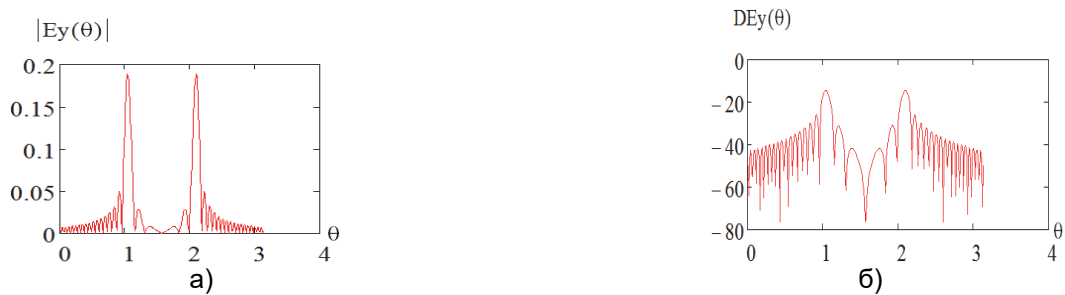


Рис. 4. Диаграммы для $\alpha = 60^\circ$.



Рис. 5. Диаграммы для $\alpha = 60^\circ$.

H – поляризация электромагнитных волн $\lambda = 10$ см

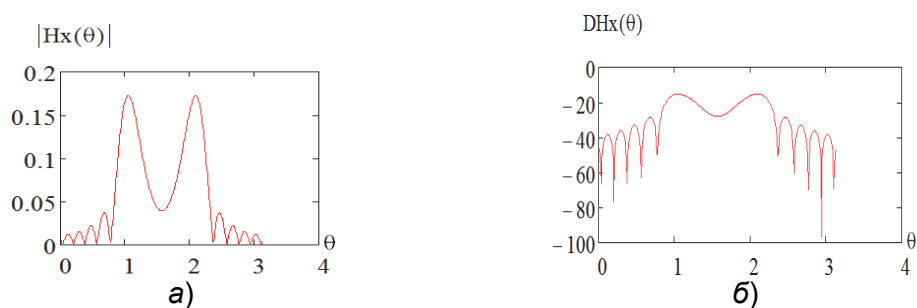


Рис. 6. Диаграммы для $\alpha = 60^\circ$.

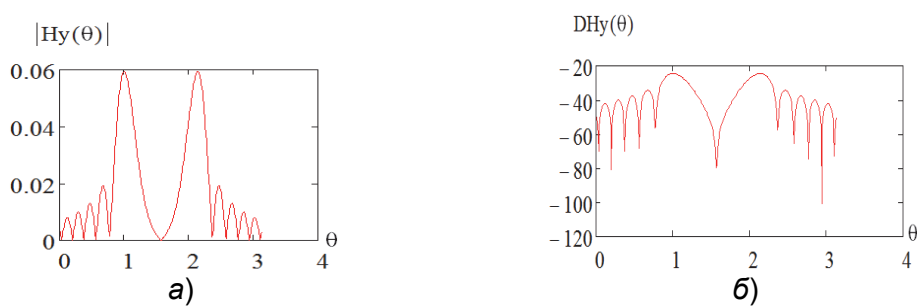


Рис. 7. Диаграммы для $\alpha = 60^\circ$.

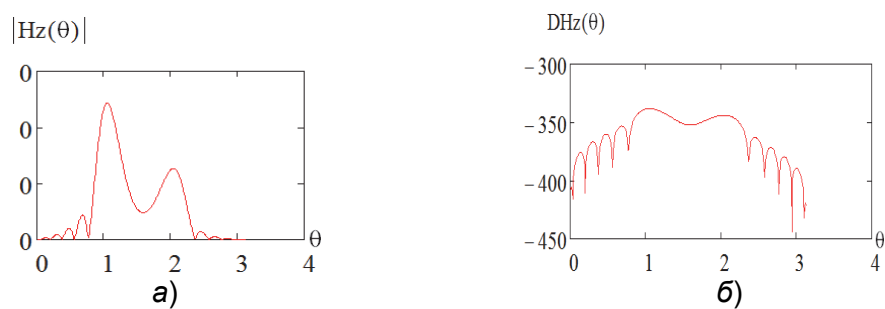


Рис. 8. Диаграммы для $\alpha = 60^\circ$.

Анализ результатов

Диаграммы рассеяния (рис. 3 – 5 и 6 – 8) имеют осциллирующий характер. При длине волны 3 см изрезанность диаграмм рассеяния более сильная, чем при длине волны 10 см.

На каждом рис. 5 и 8 можно выделить максимум в направлении зеркально отраженного луча $\varphi = \pi - \alpha$ и максимум в направлении прострельного луча, при $\varphi = \alpha$. Величина максимума в направлении зеркально отраженного луча зависит от угла отражения.

Амплитуда зеркально отраженного луча в соответствии с низким коэффициентом отражения значительно меньше амплитуды прострельного луча.

Угловое расстояние между зеркальным и прострельным лучем уменьшается при возрастании угла падения.

Полученные в статье результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Уровень мощности рассеяния от плоских поверхностей БЭК вне главных максимумов, соответствующих рассеянию в направлениях проходящей и зеркально - отраженной волн, составляет – (20 ÷ 40) дБ.

2. При приближении к указанным направлениям уровень мощности рассеяния повышается до – (0 ÷ 10) дБ, поэтому конструкция БЭК выбирается такой, чтобы зеркально отраженные волны не попадали в рабочий объем БЭК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Уфимцев П.Я.* Метод краевых волн в физической теории дифракции. - М.: Советское радио, 1962. С. 48–53.
2. *Уфимцев П.Я.* Дифракция на черных телах и на полупрозрачных пластинах. // Известия вузов. Радиофизика, 1968, т. XI, № 6., С.1867 – 1869.
3. *Черепанов А.К.* Дифракция плоской электромагнитной волны на неограниченном поглощающем клине. // М.: МГТУ МИРЭА, 2001, Межвузовский сборник научных трудов "Вопросы повышения эффективности радиоэлектронных систем", С. 153–160.
4. *Кравченко Д.С., Черепанов А.К.* Дифракция плоской электромагнитной волны на непрозрачном прямоугольнике с заданным эффективным комплексным коэффициентом отражения, при E – поляризации падающей волны. // VI Всероссийская научная конференция "Радиофизические методы в дистанционном зондировании", Муром, Россия, 2014, доклады, С. 272–277.
5. *Кравченко Д.С., Черепанов А.К., Третьяков Г.Н.* Дифракция плоских электромагнитных волн на непрозрачном прямоугольнике, при E – и H – поляризациях падающей волны, для длин волн 3 и 10 см. // Международная конференция «REDS - 2015», Москва, Россия, доклады, С. 90-94.