

Дифракция плоской электромагнитной волны на прямоугольнике с комплексным коэффициентом отражения, при произвольных углах падения и наблюдения волны, при H поляризации падающей волны, для $\lambda = 3$ и 10 см

Д.С. Кравченко, А.К. Черепанов

Московский технологический университет (МИРЭА)

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.

When designing different sets of radio, there is a need to study the scattering field of various weakly reflective structures in bezehovyyh cells (back). One of these tasks can be made to the calculation of diffraction of electromagnetic waves on the square with complex reflection coefficient.

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 $2a \times 2b$, характеризуемом 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 60° , при $\lambda = 3$ и 10 см волн, при H – 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 E – 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

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

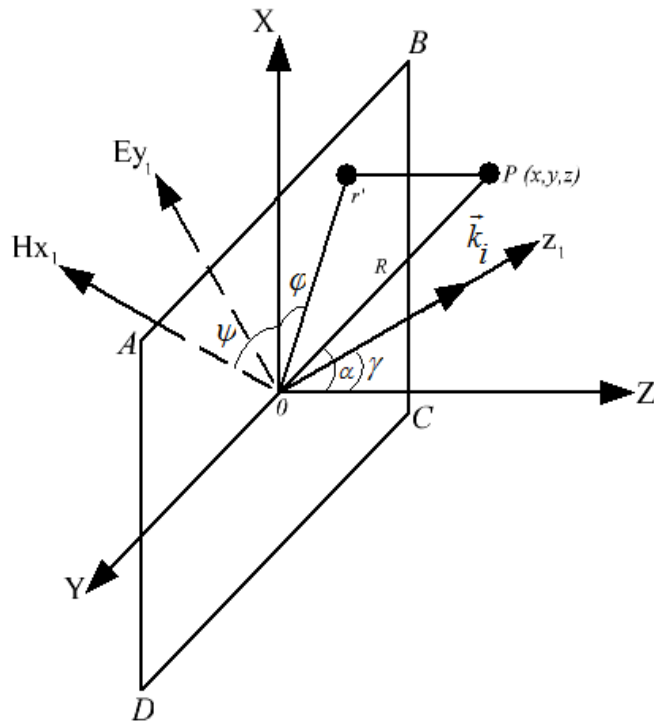
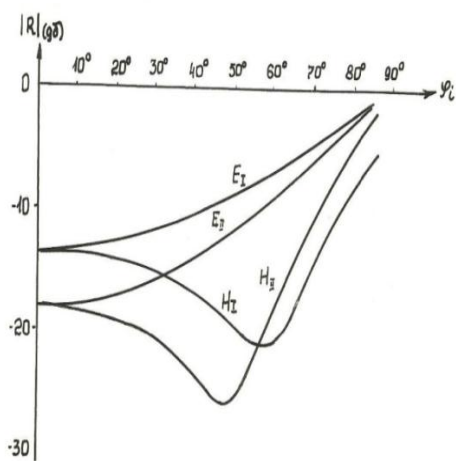


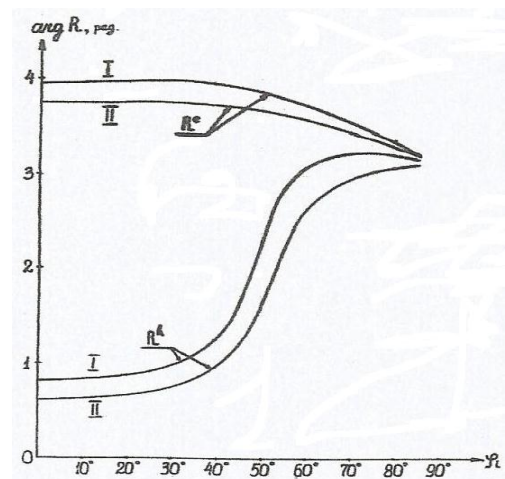
Рис.1. Геометрия задачи

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 (KO) исследуемого материала при $\lambda = 3$ см представлен на рис.2 а, б.



а)



б)

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

Таблица 1

№	R ^h Коэффициент отражения РПМ - II (λ = 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 (λ = 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

четыреугольника $a = 40$ 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

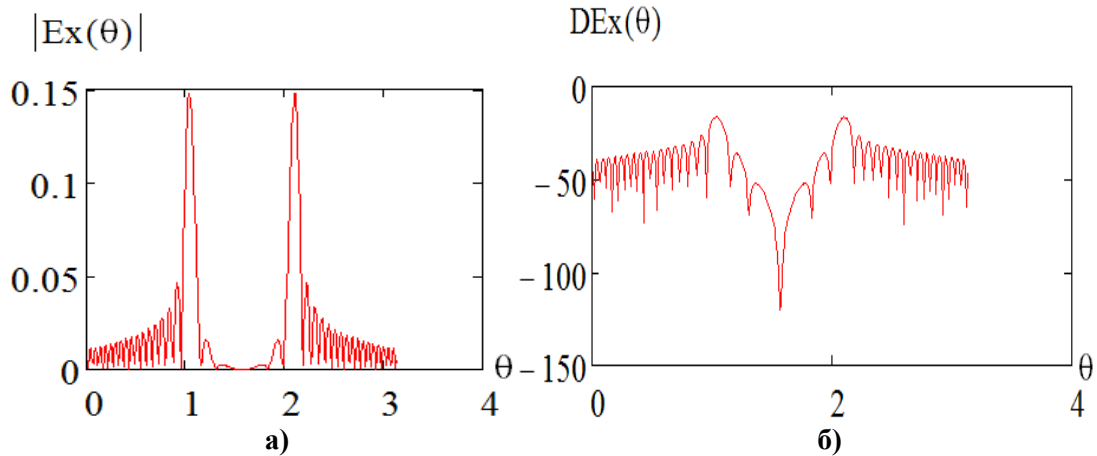


Рис.3.

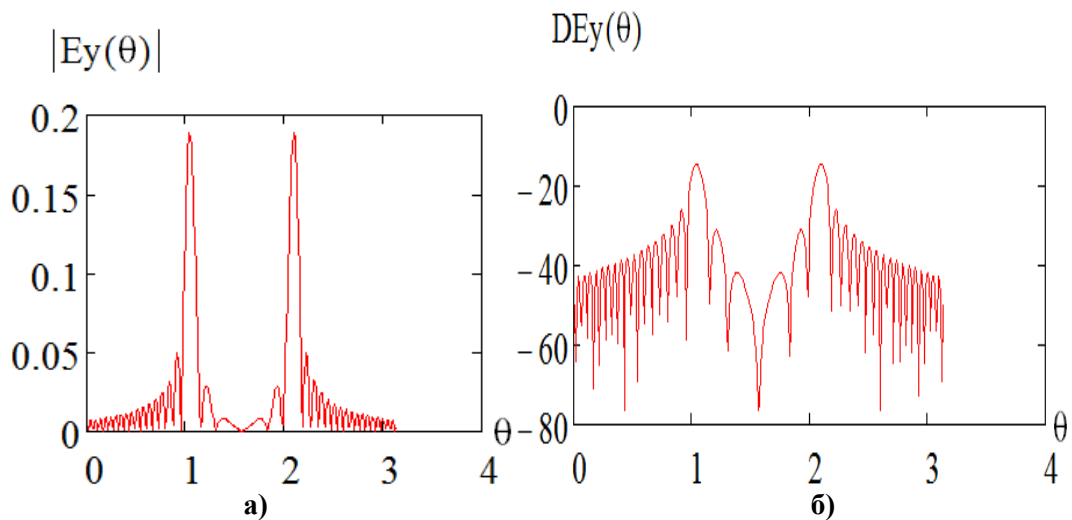


Рис.4.

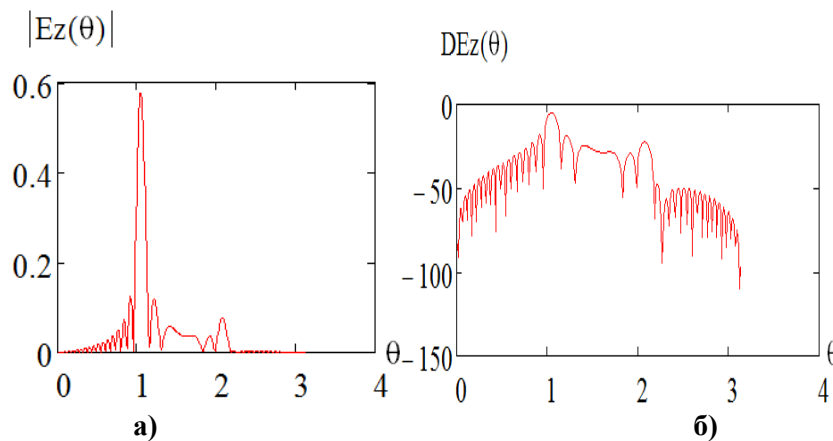


Рис.5. H – поляризация электромагнитных волн $\lambda = 10$ см

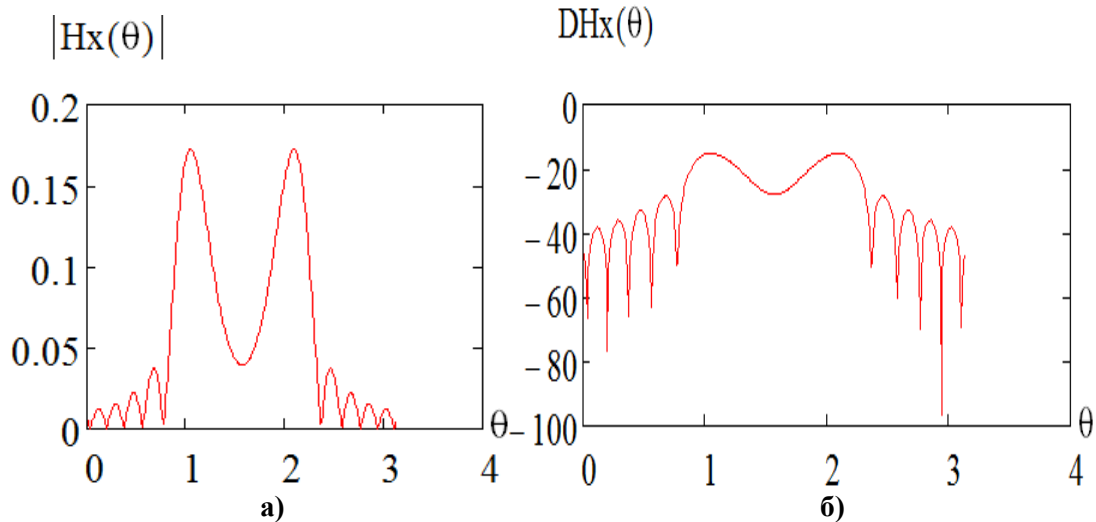


Рис.6.

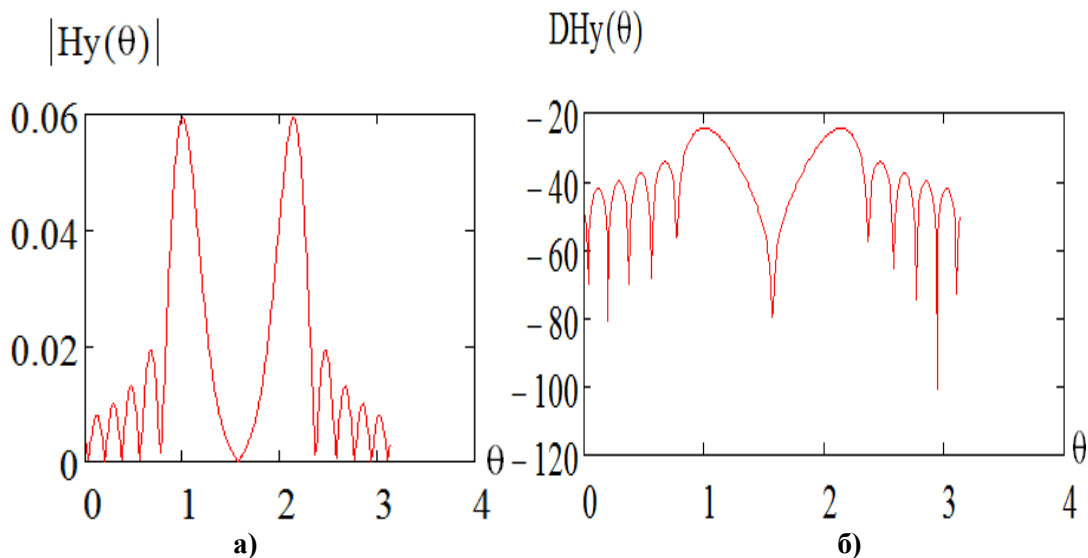


Рис.7.

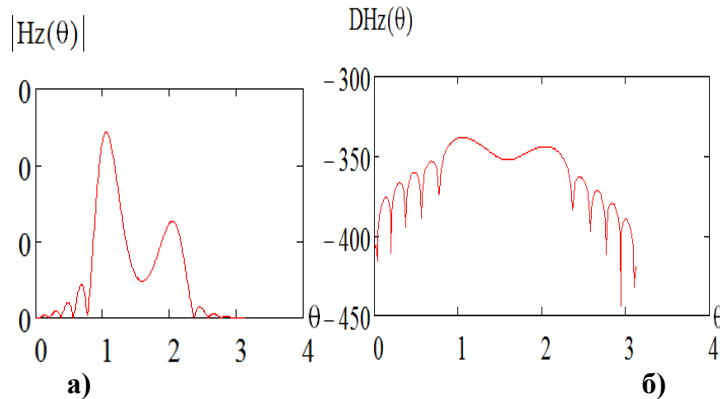


Рис.8.

Анализ результатов

Диаграммы рассеяния (рисунки 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 рисунке 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 лучами 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 $-(20 \div 40)$ дБ.

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

Литература

1. П.Я. Уфимцев. Метод краевых волн в физической теории дифракции. // М.: Советское радио, 1962. С.48 – 53.
2. П.Я. Уфимцев. Дифракция на черных телах и на полупрозрачных пластинах. // Известия вузов. Радиофизика, 1968, т. XI, № 6., С.1867–1869.
3. А.К. Черепанов. 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. Д.С. Кравченко, А.К. Черепанов. 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. Д.С. Кравченко, А.К. Черепанов, Г.Н. Третьяков. 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.