

Метод непосредственного измерения рассеянной мощности в радиочастотных безэховых камерах при вертикальной поляризации

Д.С. Кравченко

МИРЭА - Российский технологический университет, 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78, Booty1@yandex.ru

Введение

Радиочастотные безэховые камеры используются для построения диаграмм направленности излучения антенн, изучения электромагнитной совместимости, построения диаграмм ЭПР и др. Измерения могут проводиться на полноразмерных объектах, включая самолёты, либо на уменьшенных моделях (с соответствующим уменьшением длины волны излучения радара).

Стационарные БЭК имеют уровень безэховости до -40 дБ в диапазоне частот от 1 ГГц до 40 ГГц. Экранирование от внешних воздействий обеспечивает затухание электромагнитной энергии 60 - 120 дБ в диапазоне частот от 10 КГц до 100 ГГц.

Для определения качества БЭК введены следующие радиотехнические характеристики: коэффициент безэховости $K_б$ и «кажущаяся» ЭПР S_k .

Основной радиотехнической характеристикой безэховой камеры является коэффициент безэховости $K_б$, определяемый во всем рабочем диапазоне и во всей безэховой зоне БЭК. Напомним, что безэховой зоной БЭК называется объем, в любой точке которого $K_б$ меньше заданного значения.

Коэффициентом безэховости $K_б$ называется отношение потока мощности, рассеянного камерой $P_{рас}$, к потоку мощности, пришедшему от излучателя, $P_{пад}$ в заданной точке безэховой зоны БЭК и определяется, как правило, по следующей формуле:

$$K_б = 10 \lg(P_{рас}/P_{пад}) \quad (1)$$

Коэффициент безэховости БЭК определяется по «наихудшему» его значению к безэховой зоне.

В настоящее время для испытаний БЭК разработаны следующие методы: непосредственного измерения рассеянной мощности; перемещающегося индикатора (метод КСВ); наложения диаграмм направленности приемной антенны и свип-генератора (метод генератора качающейся частоты); двух приемных антенн; измерений «кажущейся» ЭПР БЭК.

Метод непосредственного измерения рассеянной мощности является наиболее простым и оперативным, но его точность зависит от диаграммы направленности индикаторной антенны, выбранной для измерений. Для реализации метода требуются приемные антенны, имеющие малые боковые и задние лепестки диаграммы направленности. Для удовлетворительных измерений эти лепестки должны быть на 25, 30 дБ меньше, чем измеряемый коэффициент безэховости.

1. Постановка задачи

Падающую на прямоугольник, плоскую электромагнитную \vec{E}^i - поляризованную волну с произвольной линейной поляризацией представим в виде:

$$\vec{E}^i = \vec{E}_{0z}^i \cdot e^{ik_i \cdot (x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma)}, \quad (k_i = |\vec{k}_i| = k) \quad (1.1)$$

где \vec{E}_{0z}^i - амплитудное значение волны,

$\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma$ - направляющие косинусы волнового вектора падающей волны \vec{E}^i - комплексная амплитуда волны (рис 1).

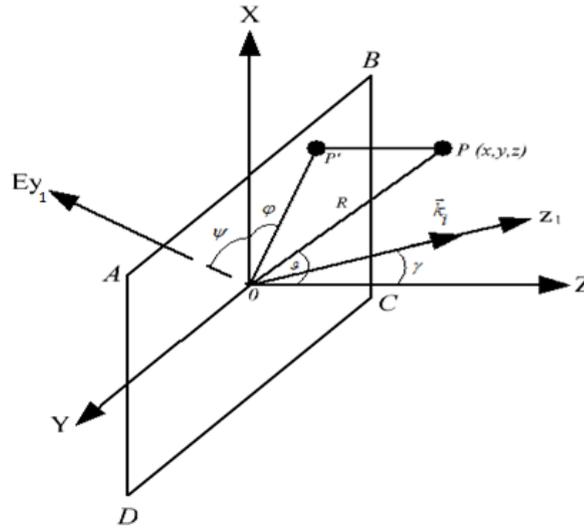


Рис.1. Геометрия задачи.

На рис. 1 ABCD - рассеивающая площадка, R - расстояние от 0 до точки наблюдения P, \vec{k}_i - волновой вектор падающей волны, γ - угол падения, φ - угол наблюдения, $P(x, y, z)$ - точка наблюдения, \vec{E}_{y1} - вектор электрического поля, ψ - угол между вектором \vec{E} и осью X, θ - угол между R и осью Z.

Рассмотрим дифракцию волны, электрический вектор которой лежит в плоскости четырехугольника.

Для электрической компоненты полного поля вблизи поверхности имеем:

$$E_{y1} = E_{0y1} \cdot e^{ik \cdot (x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma)} + R^e \cdot E_{0y1} \cdot e^{ik \cdot (x \cos \alpha + y \cos \beta - z \cos \gamma)} \quad (1.2)$$

где $E_{0y1} \cdot e^{ik \cdot (x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma)}$ ($k_i = |\vec{k}_i| = k$) - падающая волна

и $E_{0y1} \cdot e^{ik \cdot (x \cos \alpha + y \cos \beta - z \cos \gamma)}$ ($k_i = |\vec{k}_i| = k$) - отраженная волна

R^e - комплексный коэффициент отражения

Компоненты магнитного поля в системе координат x, y, z имеют вид:

$$E_x = E_{y1} \cdot \cos \psi; \quad E_y = E_{y1} \cdot \sin \psi; \quad E_z = 0 \quad (1.3)$$

так, как вектор E лежит в плоскости xOy .

Компоненты магнитного поля найдем с помощью первого уравнения Максвелла для гармонических волн.

$$\text{rot } \vec{E} = ik \mu \vec{H} \quad \vec{H} = \frac{1}{ik} \text{rot } \vec{E} \quad (1.4)$$

На рис. 2 изображены графики зависимости коэффициента безэховости и его аргумента от угла падения γ . Из рисунка видно, что имеет место экстремум (на рис 2 а), а также минимум коэффициента безэховости при γ , приближающегося к 90° .

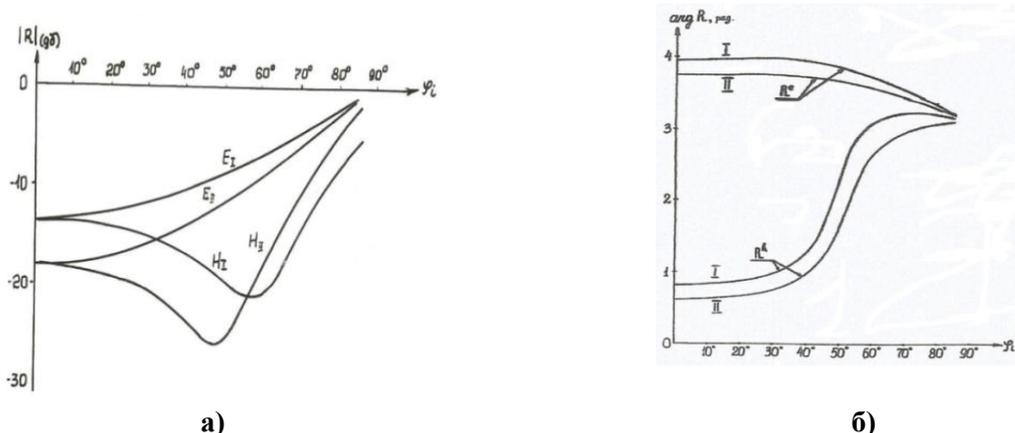


Рис.2. Графики угловых зависимостей коэффициента отражения (модулей и фаз КО для 300 (I) сантиметровых волн).

2. Расчетные формулы

$$E_x = ik \frac{e^{ikR}}{R} \cdot \left[Q_p^e(\vartheta, \varphi) \cdot \sin \vartheta \sin \varphi + Q_m^e(\vartheta, \varphi) \cdot \cos \vartheta \cdot (\cos \psi - \sin^2 \vartheta \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\psi + \varphi)) \right] \quad (1.5)$$

$$E_y = -ik \frac{e^{ikR}}{R} \cdot \left[Q_p^e(\vartheta, \varphi) \cdot \sin \vartheta \sin \varphi - Q_m^e(\vartheta, \varphi) \cdot \cos \vartheta \cdot (\sin \psi + \sin^2 \vartheta \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\psi + \varphi)) \right] \quad (1.6)$$

$$E_z = ik \frac{e^{ikR}}{R} \cdot \left[Q_p^e(\vartheta, \varphi) \cdot \cos(\psi + \varphi) \cdot \sin \vartheta \cdot (1 + \cos \gamma \cdot \cos \vartheta) \right] \quad (1.7)$$

3. Результаты численных расчетов

По формулам (1.5 – 1.7) проведены численные расчёты. Значения РПМ для «болото» с $\lambda = 300$ см, комплексным коэффициентом отражения R^e , фазой φ и расчетными данными, приведены в таблицах 2, 3 и 4, а значения модуля КО на рис 2а и 2б, соответственно, при размерах четырехугольника, $a = 1500$ см, $b = 800$ см, и расстоянии R от 0 до точки наблюдения, равном 120 см.

Ориентация плоскости падения волны на прямоугольник определяется углами $\psi = \pi/2$, $\varphi = 0$. Направление падения волны определяется направляющими косинусами $\cos \alpha$, $\cos \beta$, и $\cos \gamma$ относительно осей координат x, y, z . В случае падения волны в плоскости XOZ , где $\alpha = \pi/2 - \gamma$; $\beta = \pi/2$; для угла облучения $\gamma = 60^\circ$.

Расчеты проводились для полупространства $0 < \vartheta < \pi$.

Таблица 2

R ^e (РПМ-I) λ = 300 см											
№	γ	dB	a (см)	b (см)	f (МГц)	Модуль КО (в отн. ед.)	Мощность (в отн. ед.)	φ	R ^e (V ^e)	Im (V ^e)	E _{xрпм} мВт/м
1	60	-9	1500	800	100	0,355	0,126	3,62	0,354	0,001	37,349
№	γ	dB	a (см)	b (см)	f (МГц)	Модуль КО (в отн. ед.)	Мощность (в отн. ед.)	φ	R ^e (V ^e)	Im (V ^e)	dB _{xрпм}
1	60	-9	1500	800	100	0,355	0,126	3,62	0,354	0,001	31,446

Таблица 3

R ^e (РПМ-I) λ = 300 см											
№	γ	dB	a (см)	b (см)	f (МГц)	Модуль КО (в отн. ед.)	Мощность (в отн. ед.)	φ	R ^e (V ^e)	Im (V ^e)	E _{yрпм} мВт/м
1	60	-9	1500	800	100	0,355	0,126	3,62	0,354	0,001	55,331
№	γ	dB	a (см)	b (см)	f (МГц)	Модуль КО (в отн. ед.)	Мощность (в отн. ед.)	φ	R ^e (V ^e)	Im (V ^e)	dB _{yрпм}
1	60	-9	1500	800	100	0,355	0,126	3,62	0,354	0,001	34,859

Таблица 4

R ^e (РПМ-I) λ = 300 см											
№	γ	dB	a (см)	b (см)	f (МГц)	Модуль КО (в отн. ед.)	Мощность (в отн. ед.)	φ	R ^e (V ^e)	Im (V ^e)	E _{zрпм} мВт/м
1	60	-9	1500	800	100	0,355	0,126	3,62	0,354	0,001	46,636
№	γ	dB	a (см)	b (см)	f (МГц)	Модуль КО (в отн. ед.)	Мощность (в отн. ед.)	φ	R ^e (V ^e)	Im (V ^e)	dB _{zрпм}
1	60	-9	1500	800	100	0,355	0,126	3,62	0,354	0,001	33,374

4. Диаграммы рассеяния электромагнитных волн при E - поляризации для λ = 300 см

Компонента E_x

$$\psi = \frac{\pi}{2}; \varphi = \frac{\pi}{2}; \beta = \frac{\pi}{2} - \gamma$$

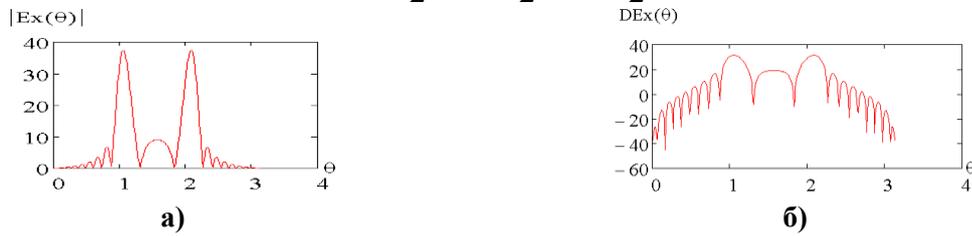


Рис.3. Диаграммы для γ = 60°

Компонента E_y

$$\psi = \frac{\pi}{2}; \varphi = \frac{\pi}{2}; \beta = \frac{\pi}{2} - \gamma$$



Рис.4. Диаграммы для γ = 60°.

Компонента E_z

$$\psi = \frac{\pi}{2}; \varphi = \frac{\pi}{2}; \beta = \frac{\pi}{2} - \gamma$$

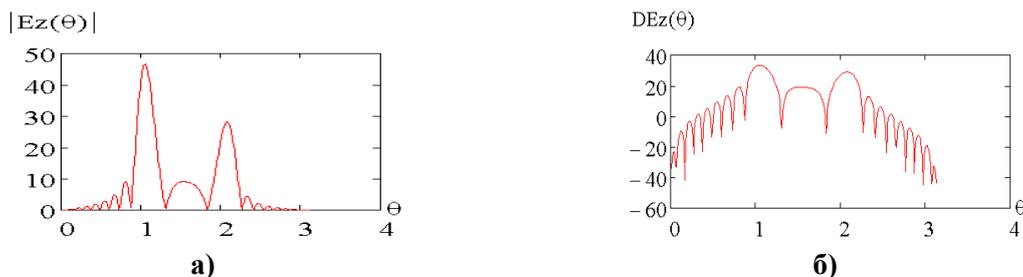


Рис.5. Диаграммы для $\gamma = 60^\circ$.

5. Анализ результатов

Полученные результаты исследования 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, что требует конструктивных решений БЭК, исключающих возникновение зеркально отраженных волн в рабочем объеме БЭК, в котором помещают исследуемый объект.

Заключение

В данных тезисах проработана методика учета отражений радиоволн от стенок БЭК при использовании конкретных конструкционных материалов, в частности, при покрытии стенок радиопоглощающим материалом «болото», для компонент E_x , E_y и E_z . Проанализировано влияние этих отражений на коэффициент безэховости БЭК. Полученные результаты расчетов могут быть использованы при разработке новых видов БЭК и при проектировании рабочих мест в безэховых камерах, а также могут быть применены при выборе радиочастот источников излучения, используемых при измерении диаграмм направленности РЭС, при определении диаграмм ЭПР в БЭК и др.

Как следует из таблиц 2, 3 и 4 наихудшим значением мощности отражённого сигнала является -9 дБ для $\lambda = 300$ см, что соответствует $K_6 = -9$ дБ для $\lambda = 300$ см. Такое значение K_6 недостаточно, а это означает, что надо облицовывать стенки БЭК другим, более эффективным РПМ.

Литература

1. Мицмахер М. Ю. Качество современных безэховых камер и радиопоглощающие материалы. — В сб.: Антенны/Под ред. А. А. Пистолькорса. М.: Связь, 1980, вып. 28, с. 147—164.
2. Buckley E. F. Microwave Reflectivity Measurement — Theory and Practice. — Electronic Design (Microwaves), 1962, March 15, p. 12—19.
3. Buckley E. F. Design Evaluation and Performance Modern Microwave Anechoic Chambers for Antenna Measurements, — Electronic Components, 1965, v. 6, N 12, p. 1119—1126.
4. Emerson and Cuming Inc. «Free Space Microwave Absorbers».
5. Love A. W. The Diagonal Horn Antenna, Electromagnetic Horn Antennas, — IEEE Press. Edited by A. W. Lowe, 1976.
6. Dybdal R. B. Horn Antenna Sidelobe Reduction Using Absorber Tunnels, — AP-S International Symposium, 1977, p. 324—327.