

07;09;12

## **Микроволновые исследования отражающих экранов на основе массивов Костаса**

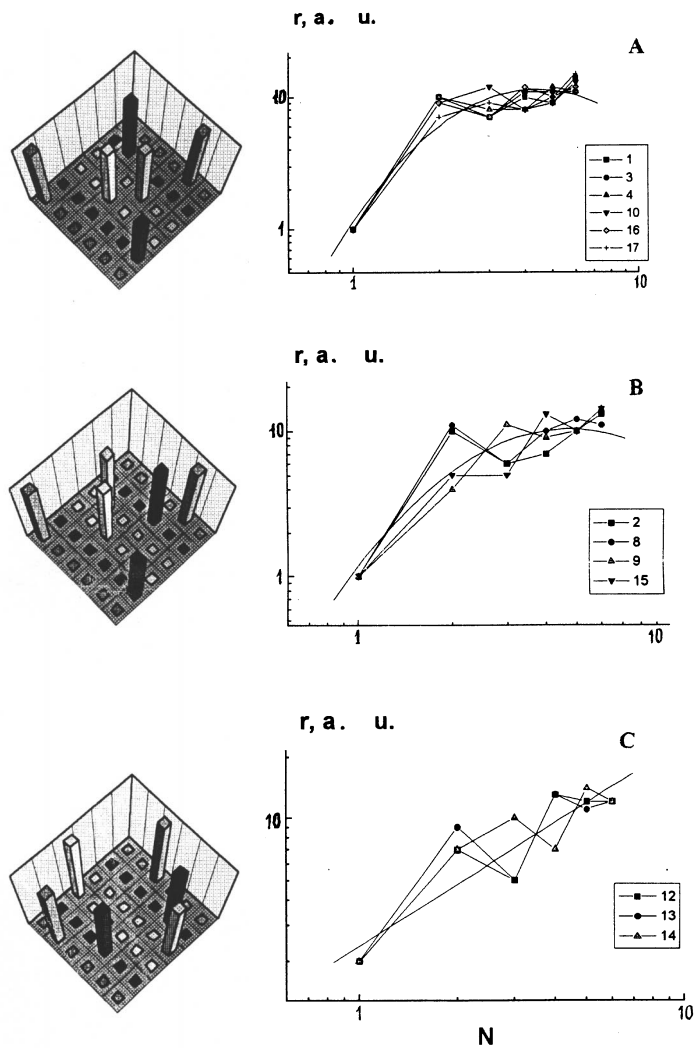
© *О.И. Коньков, А.В. Приходько*

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург  
С.-Петербургский государственный технический университет

*Поступило в Редакцию 2 июня 1999 г.  
В окончательной редакции 10 ноября 1999 г.*

Предлагается новый метод исследования отражающих экранов с незаполненной апертурой при помощи микроволнового интерферометра (длина волны 8.8 mm). Экраны моделируются  $(6 \times 6)$  массивами Костаса и исследуется профиль стоячей волны в ближней зоне экрана. Результаты свидетельствуют об уменьшении напряженности поля вблизи главной пучности стоячей волны и перераспределении ее профиля при увеличении фрактальной размерности экранов.

Известно, что основной проблемой микроволновых экранов с незаполненной апертурой является поиск алгоритма размещения отражающих элементов, приводящий к оптимальному формированию отражающего сигнала. Теоретически было показано [1], что в квазислучайных массивах, относящихся к такому классу экранов, можно управлять микроволновыми свойствами. Так, например, при изменении фрактальной размерности массивов происходит перераспределение отраженной энергии, а следовательно, возможно управление отражающими свойствами. Поиск экспериментального метода, позволяющего установить связь геометрии случайного массива экрана с реальными характеристиками отражения и является целью данной работы. В работе [1] для описания геометрии случайного массива используется фрактальный подход, при



**Рис. 1.** Зависимость числа излучателей  $N$  от расстояния  $r$  до стартовой точки для разных массивов, объединенных в классы  $A, B, C$ . Номера массивов указаны на вставках. Слева приведены примеры 1, 2, 12 массивов ( $6 \times 6$ ) Костаса, принадлежащих  $A, B, C$  группам.

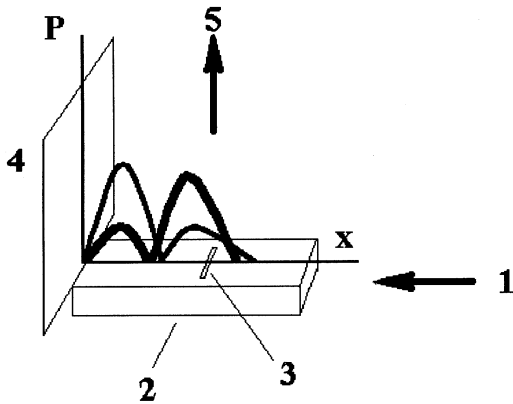
этом применяется понятие фрактальной размерности

$$D = \frac{\log N}{\log r_{ef}},$$

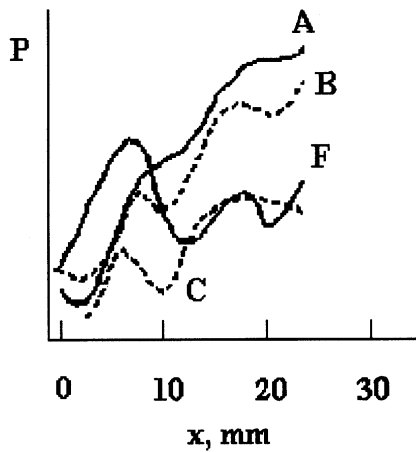
где  $N$  — количество излучателей, находящихся на расстоянии не более чем  $r$ ;  $r$  — расстояние до некоторой стартовой точки, принятой за начало отсчета:  $r_{ef} = \frac{8r}{\lambda}$ ,  $\lambda$  — длина волны.

На рис. 1 представлены примеры  $6 \times 6$  массивов Костаса с номерами 1, 2, 12. Номер массива произволен и выбран так, что соответствует порядку расположения массивов  $6 \times 6$  из работы [2] (рис. 23 из [2]). На том же рисунке представлены зависимости количества излучателей  $N$  от расстояния  $r$  до стартовой точки (левый угол решетки на рис. 2). Отличительной особенностью зависимостей, принадлежащих  $A$ ,  $B$ ,  $C$  группам массивов, является появление точки перегиба при  $N = 3$  для  $A$  и  $B$  групп. При этом происходит изменение фрактальной размерности массива и его отражательных свойств.

В данной работе исследуется профиль стоячих волн в ближней зоне случайной решетки в зависимости от величины  $D$  и при постоянном



**Рис. 2.** Микроволновый эксперимент: 1 — вход микроволнового сигнала от генератора типа P2-65, 2—8-мм волновод, 3 — щель, 4 — исследуемый экран, 5 — выход ( $P$ ) на рупорную антенну и амплитудно-частотный анализатор спектра типа С4-27.



**Рис. 3.** Характерные профили стоячей волны для групп *A*, *B*, *C* массивов Костаса и сплошного экрана *F*.

коэффициенте заполнения экрана (отношение числа элементов  $N = 6$  к площади экрана  $S = 24 \times 24 \text{ mm}^2$ ). Для этого использовался метод исследования стоячих волн при помощи микроволнового интерферометра [3,4]. В основе метода — возбуждение стоячей волны у экрана при помощи “сильноизлучающей” щели (ее размер  $100 \mu\text{m} \times 4 \text{ mm}$ ). При этом возбуждение стоячей волны происходит в ближней зоне случайного массива, из которого сформирован экран, а восстановление ее профиля — при помощи антенны, расположенной непосредственно над щелью на расстоянии  $10\lambda$  ( $\lambda$  — длина волны), изменяя расстояние  $x$  между щелью и экраном. На рис. 2 показана схема микроволнового эксперимента. Частота  $33.8 \text{ GHz}$ . На рисунке схематически показаны профили волны  $P(x)$ , получаемые при перемещении экрана 4 с различными массивами вдоль оси  $x$ .

Для моделирования случайных массивов использовались массивы Костаса [4], построенные при помощи полуволновых отражающих элементов. Расстояние между ними составляло величину  $n\lambda/2$ , где  $n$  — целое число. Отражателями служили медно-углеродные кубы размером  $4 \times 4 \times 4 \text{ mm}$ , расположенные на пенопластовом основании.

Фрактальные размерности массивов Костаса и микроволновые характеристики

Номер массива	$D$	$P_1$ , а.е.	$\Delta$	Группа
1	1.395	35	6	A
2	0.972	24	10	B
12	0.674	19	14	C

Результаты микроволновых исследований представлены на рис. 3, а также в таблице. Анализ результатов свидетельствует, что при увеличении фрактальной размерности от 0.674 до 1.395 (при  $N = 6$ ) напряженность поля, регистрируемая в первой пучности стоячей волны ( $P_1$ ), увеличивается, при этом происходит перераспределение (сглаживание) профиля волны по отношению к профилю экрана (кривая  $F$  на рис. 3). Степень сглаживания главной пучности характеризуется величиной  $\Delta$ , представляющей разницу между амплитудами первых пучностей и узла стоячей волны (см. таблицу).

Таким образом, изменение распределения массива отражающих элементов при постоянной степени заполнения плоскости экрана — изменение его фрактальной размерности, приводит к изменению профиля стоячей волны, что позволяет связать геометрию случайного массива с такими характеристиками, как интенсивность отражения в ближней зоне и степень сглаживания пучностей стоячей волны. Такого типа исследования могут быть полезны при проектировании пассивных случайных отражающих экранов или активных отражателей с управлением направленностью и интенсивностью отражения.

Работа поддержана Научным советом по направлению "Фуллерены и атомные кластеры" (задание 3–2–98).

## Список литературы

- [1] Ким Й., Джаггард Д.Л. // ТИИЭР. 1986. V. 74. № 9. С. 124. (Kim Y., Jaggad D.L. // Proc. of the IEEE. 1986. V. 74. P. 1278).
- [2] Голумб С.У., Тейлор Х. // ТИИЭР. 1984. Т. 72. № 9. С. 44. (Golomb S.W., Taylor H.) // Proc. of the IEEE. 1984. V. 72. P. 1143.
- [3] Kotov M.N., Masterov V.F., Prichodko A.V., Smertin O.V. // Int. J. of Infrared and Millimeter Waves. 1993. V. 14. P. 895.
- [4] Kotov M.N., Masterov V.F., Prchodko A.V., Smertin O.V., Yastrebov S.G. // Proceedings SPIE. 1994. 2250. P. 322. (Digests Int. Conf. on Mm and Submm Waves and Applications. San-Diego, USA, 1994).