

УДК 621.396.67 (075.8)

## ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЕЯНИЯ РАМОЧНЫХ АНТЕНН В ШИРОКОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ

АЛЬ-РИФАИ АБДУЛЬМУИН, О.А. ЮРЦЕВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 17 января 2007

Рассматривается диаграмма рассеяния и эффективная площадь рассеяния двух типов рамочных антенн: двойной рамочной антенны из волновых короткозамкнутых рамок и двухволновых разомкнутых рамок. Приводятся результаты численного моделирования с использованием метода моментов.

*Ключевые слова:* рамочная антенна, диаграмма рассеяния, эффективная площадь рассеяния, диаграммы направленности.

### Введение

Электромагнитная волна (ЭМВ), рассеянная антенной системой, является демаскирующим фактором, позволяющим радиолокационными средствами обнаружить неизлучающую антенную систему. Рамочные антенны частот используются в различных радиотехнических системах, в том числе и военного назначения. Поэтому их рассеивающие свойства представляют интерес с позиции радиолокационной разведки, хотя в литературе практически не рассмотрены. Радиолокационная разведка ведется в широкой полосе частот, в связи с этим в статье исследуются характеристики рассеяния рамочных антенн в широкой полосе частот, включающей рабочий диапазон частот рамочной антенны в режиме излучения. Рассматриваются диаграмма рассеяния (ДР) и эффективная площадь рассеяния (ЭПР). Для сравнения приводятся диаграммы направленности (ДН) в режиме излучения.

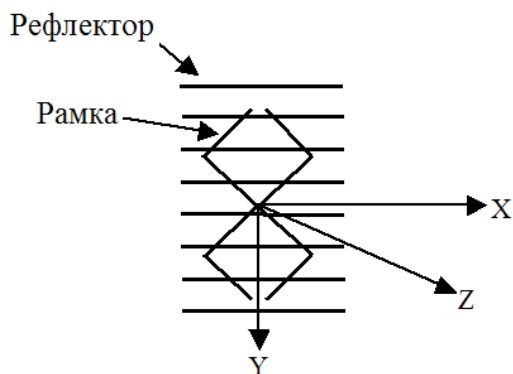


Рис. 1. Рамочная антенна

Объектом исследования является два типа рамочных антенн: двойная рамочная антенна из волновых короткозамкнутых рамок и двухволновых разомкнутых рамок. Длина периметра одноволновой рамки близка к длине волны, и рамки в углах, противоположных точкам возбуждения, замкнуты. Во втором типе рамки длина периметра близка к двум длинам волн, и каждая рамка разомкнута в углах, противоположных точкам возбуждения. На рис. 1 показана рамочная антенна из разомкнутых рамок. Рамка первого типа далее называется волновой, второго типа — двухволновой. Рамки снабжены рефлектором в виде системы проводников, параллельных вектору  $\vec{E}$ . Плоскость  $E$  — это плоскость  $XZ$ , плоскость  $H$  — плоскость  $YZ$ . Обозначения геометрических параметров:  $L$  — длина стороны рамки;  $\beta$  — угол при вершине рамки;  $D_e$  —

длина рефлектора в плоскости  $E$ ;  $D_h$  — длина рефлектора в плоскости  $H$ ;  $N$  — число проводников рефлектора;  $D_z$  — расстояние от рефлектора до рамки. Другие геометрические параметры (длина периметра и его ширина; расстояния между рефлектором и рамкой) выбирались из условия равенства нулю реактивной части входного сопротивления антенны на средней частоте выбранного для моделирования диапазона частот. Активная часть входного сопротивления для антенны с волновыми рамками  $R=75$  Ом на средней частоте диапазона.

Для численного анализа использован метод моментов [1]. Полная ЭПР определялась по полю рассеяния при нагрузке входа антенны на короткое замыкание; структурная составляющая ЭПР определялась при подключении к входу антенны согласованной нагрузки, антенная составляющая ЭПР ( $\sigma_a$ ) определялась по коэффициенту усиления антенны в режиме передачи ( $G$ ). В соответствии с работой [2] максимальное значение антенной составляющей ЭПР, соответствующее полному отражению от нагрузки антенны принятой электромагнитной волны в направлении главного максимума диаграммы направленности, определяется выражением

$$\sigma_a = \frac{G}{4\pi} \lambda^2, \quad (1)$$

где  $G$  — коэффициент усиления антенны в режиме передачи;  $\lambda$  — длина волны.

При расчете коэффициента усиления методом моментов проводники антенны считались сделанными из меди. Численное моделирование проведено в диапазоне частот со средней частотой 300 МГц. Во всех случаях рассчитывалась ЭПР, нормированная к квадрату длины волны. На некоторых графиках, показанных ниже, приводится значение ЭПР, нормированное к площади рефлектора.

### Результаты численного моделирования

В статье исследованы зависимости ЭПР и ДР от геометрических параметров рамок, рефлектора и частоты. Исследовались ЭПР и ДР при облучении антенны плоской волной, падающей на рамку в плоскости  $E$  и в плоскости  $H$  под углом  $\theta$  к оси рамки. Диаграмма рассеяния рассчитывалась как функция угла наблюдения  $\theta$  — угла между осью рамки (осью  $Z$  на рис. 1) и направлением на точку наблюдения. Рассматривались полная, антенная и структурная составляющие ЭПР. Рассчитывались ЭПР и ДР по основной составляющей, поляризация которой совпадает с поляризацией облучающей плоской волны и по ортогональной составляющей поля рассеяния. В результате определялись элементы поляризационной матрицы рассеяния, нормированные к квадрату длины волны. На всех графиках ДР приведены значения ЭПР в направлении максимума ДР.

На рис. 2,а показана ДН рамочной антенны из волновых рамок (режим излучения); на рис. 2,б ДР при падении ЭМВ по нормали к плоскости рамки со стороны рамки; на рис. 2,в — ДР при падении ЭМВ по нормали к плоскости рамки со стороны рефлектора (на рисунках направление падающей ЭМВ показано). Для сравнения на рис. 2,г показана ДР одного рефлектора (без рамок). На рисунках обозначено:  $L_0$  — длина волны;  $R$ ,  $X$  — активная и реактивная части входного сопротивления антенны в режиме передачи;  $G$  — коэффициент усиления антенны в режиме передачи;  $F/B$  — передне-заднее отношение (отношение коэффициента усиления в направлении главного максимума ДН и в обратном направлении в режиме передачи); значения полной ЭПР в направлении максимума ДР, нормированные к  $\lambda^2$ . На рис. 2–7 показано значение ЭПР в направлении максимума диаграммы рассеяния.

Рис. 2 соответствует случаю нагрузки входа антенны на короткое замыкание (приведены значения полной ЭПР). Геометрические параметры антенны выбраны так, чтобы на частоте  $f_0=300$  МГц выполнялось условие  $R=75$  Ом,  $X=0$ ;  $L=245,97$  мм;  $\beta=85^\circ$ ;  $D_e=600$  мм;  $D_h=880$  мм;  $N_e=9$ ;  $D_z=148$  мм. Далее все результаты приведены для диапазона частот со средней частотой  $f_0=300$  МГц. Из приведенных рисунков можно сделать выводы об общих закономерностях рассеяния ЭМВ на рамочной антенне.

При облучении антенны со стороны рамки (рис. 2,б) максимум ДР ориентирован в направлении, совпадающем с направлением распространения облучающей ЭМВ. В этом случае

поля рассеяния рамки и рефлектора складываются с разностью фаз, близкой к нулю. В направлении, обратном направлению распространения ЭМВ величина ЭПР меньше, так как указанные два поля рассеяния сдвинуты по фазе и частично компенсируют друг друга.

При облучении антенны со стороны рефлектора (рис. 2,в) максимум ДР ориентирован в направлении, обратном направлению распространения облучающей ЭМВ, и ЭПР в направлении максимума ДР мало отличается от предыдущего случая. При этом ЭПР в направлении максимума ДР возрастает по сравнению с ЭПР рефлектора (рис. 2,з).

Основной вклад в ЭПР дает рефлектор антенны.

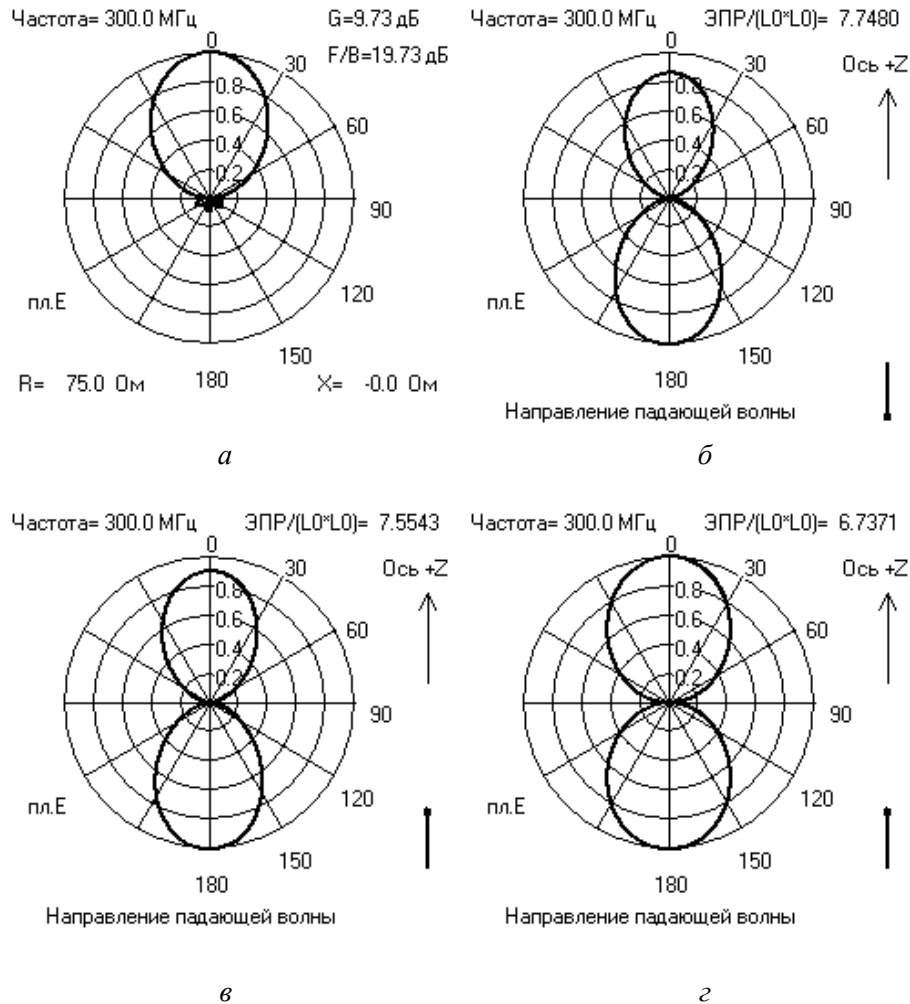


Рис. 2. Характеристики излучения и рассеяния рамочной антенны из волновых рамок. На входе антенны — короткое замыкание: а) диаграмма направленности; б) диаграмма рассеяния при облучении со стороны рамки; в) диаграмма рассеяния; з) диаграмма рассеяния рефлектора при облучении со стороны рефлектора

Структурная составляющая ЭПР, соответствующая подключению ко входу антенны согласованной нагрузки, меньше полной ЭПР. На рис. 3 показаны результаты, соответствующие этому случаю, при облучении антенны со стороны рамки (рис. 3,а) и со стороны рефлектора (рис. 3,б). На рис. 4,а показаны зависимость структурной, антенной и полной ЭПР от нормированной частоты  $f/f_0$  ( $f_0=300$  МГц — средняя частота рабочего диапазона антенны в режиме передачи).

ЭПР рамочной антенны зависит от структуры рефлектора (числа проводников рефлектора). На рис. 4,б показана зависимость структурной составляющей  $\text{ЭПР}/\lambda^2$  от нормированной частоты для антенны с теми же параметрами  $L$ ,  $\beta$ ,  $D_z$ ,  $D_e$ ,  $D_h$ , что и на рис. 2,а при разном числе проводников рефлектора  $N$ . Как видно, ЭПР возрастает с увеличением плотности расположения проводников рефлектора. Максимум ЭПР наблюдается на частоте, несколько меньшей, чем средняя частота антенны в режиме передачи. Этот максимум удобно

сравнить с площадью рефлектора  $S=D_e \times D_h$ . Так, для антенны с параметрами, соответствующими рис. 3,а, при облучении антенны со стороны рамки отношение ЭПР/ $S \approx 20$  при  $N_e=9$ .

На рис. 5 показана зависимость структурной составляющей ЭПР/ $\lambda^2$  и ЭПР/ $S$  от нормированной частоты  $f/f_0$  ( $f_0=300$  МГц) в полосе частот с коэффициентом перекрытия  $f_{\max}/f_{\min}=8$ . Параметры антенны такие же, как на рис.2а. Их значения нормированы к средней длине волн:  $L/\lambda_0=0,245$ ;  $D_e/\lambda_0=0,6$ ;  $D_h/\lambda_0=0,88$ ;  $D_z/\lambda_0=0,148$ ;  $N=9$ ;  $\lambda_0=1000$  мм и соответствует частоте  $f_0=300$  МГц. Как видно, абсолютное значение ЭПР/ $S$  максимально на частоте, меньшей средней частоте рабочего диапазона рамочной антенны в режиме передачи.

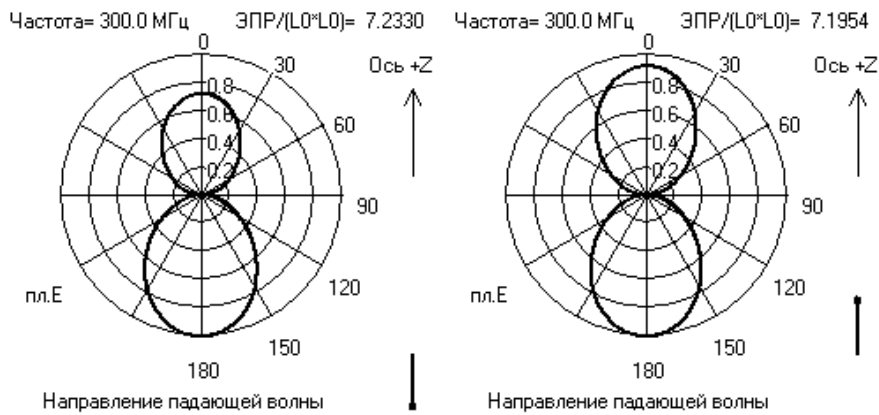


Рис. 3. ДР при согласованной нагрузке на входе антенны: а) облучение со стороны рамки, б) облучение со стороны рефлектора

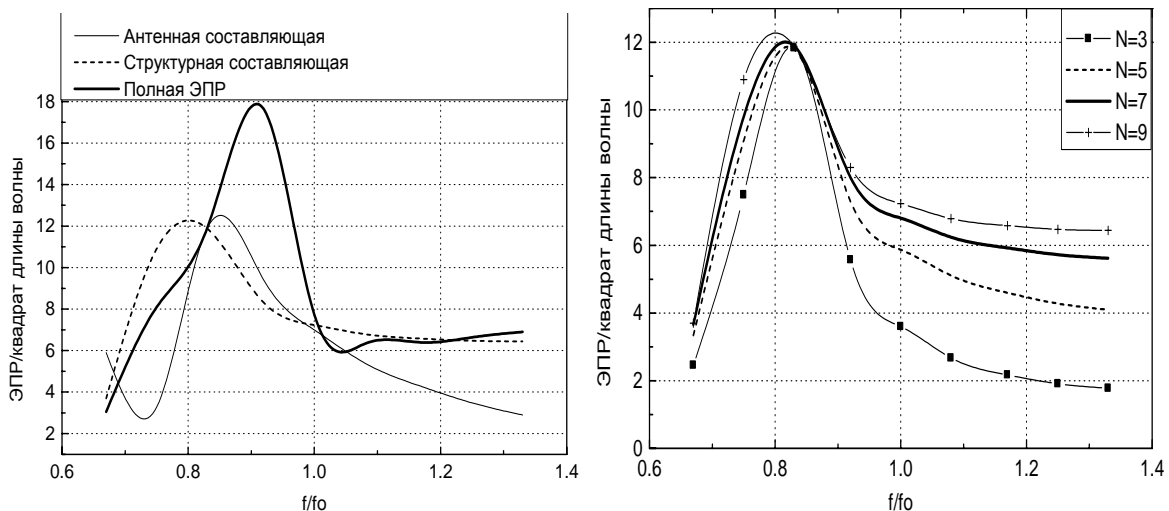


Рис. 4. Зависимость ЭПР от нормированной частоты: а) при  $N=9$ ; б) структурная составляющая ЭПР при разном числе проводников рефлектора

Аналогичные закономерности в зависимости ДР и ЭПР от частоты наблюдаются в рамочной антенне из двухволновых разомкнутых рамок. На рис. 6,а показана диаграмма направленности антенны, параметры которой на средней частоте  $f_0=300$  МГц выбраны так, чтобы реактивная часть входного сопротивления  $X=0$  на средней частоте ( $L/\lambda_0=0,4496$  мм:  $\beta=90^\circ$ ;  $D_e/\lambda_0=0,8$  мм;  $D_h/\lambda_0=1,55$  мм;  $D_z/\lambda_0=0,15$  мм). На рис. 6,б показана диаграмма рассеяния при облучении антенны электромагнитной волной, распространяющейся вдоль оси  $Z$  со стороны рамки, при согласованной нагрузке на входе антенны. На рис. 6,в показана диаграмма рассеяния при облучении антенны электромагнитной волной, распространяющейся вдоль оси  $Z$  со стороны рамки, при коротком замыкании на входе антенны.

На рис. 7 приведены зависимости от нормированной частоты полной и структурной составляющих ЭПР, нормированные квадрату длины волн (рис. 7,а) и к площади рефлектора (рис. 7,б).

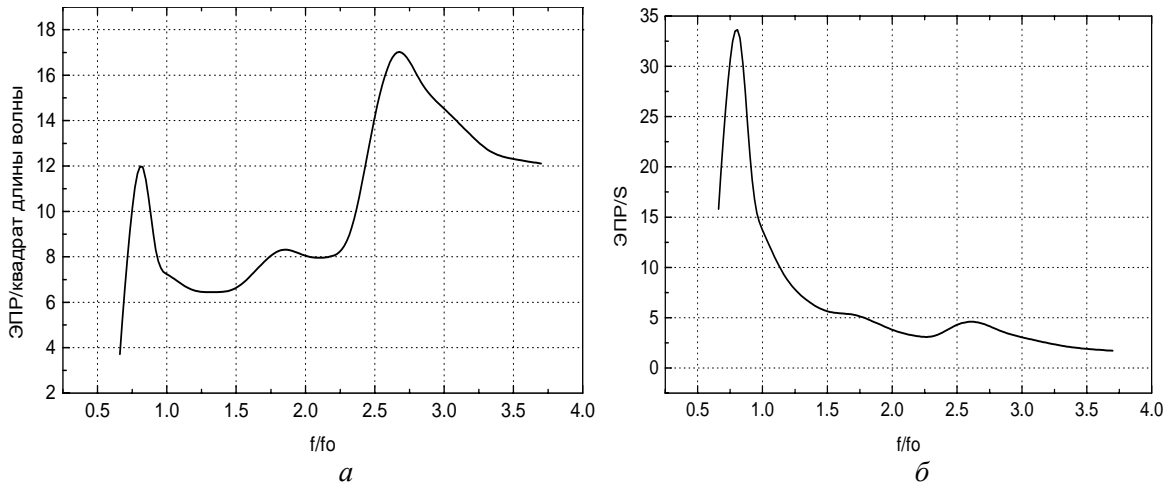


Рис. 5. Зависимость структурной составляющей ЭПР от нормированной частоты: а) зависимость ЭПР/λ<sup>2</sup>; б) зависимость ЭПР/S

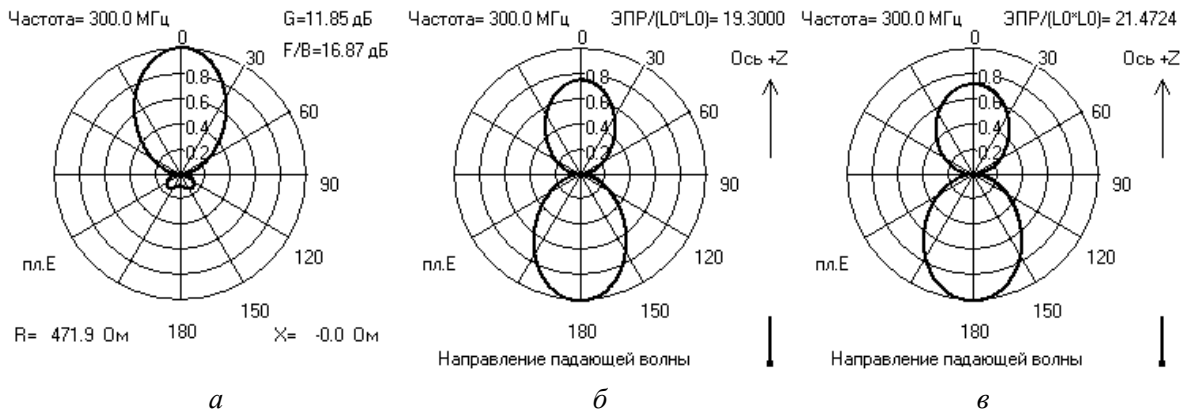


Рис. 6. Характеристики рассеяния рамочной антенны из двухволновых рамок: а) диаграмма направленности,  $N=15$ ; б) диаграмма рассеяния (СН); в) диаграмма рассеяния (КЗ)

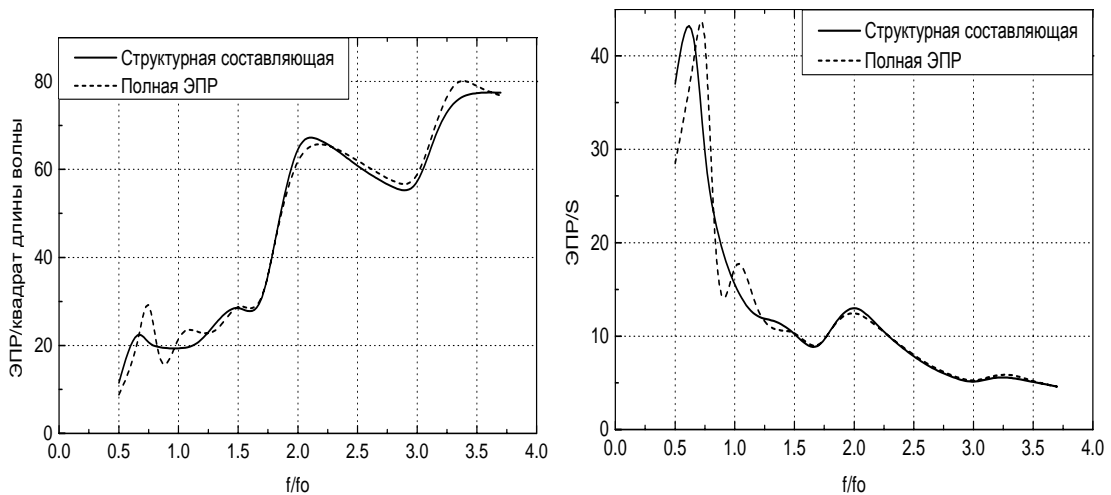


Рис. 7. Зависимость ЭПР от нормированной частоты: а) зависимость ЭПР/λ<sup>2</sup>; б) зависимость ЭПР/S

### **Заключение**

Исследованы характеристики рассеяния двух типов рамочных антенн – из двойных волновых замкнутых и двухволновых разомкнутых рамок. Показано, что структурная составляющая эффективной площади рассеяния, соответствующая подключению к входу антенны согласованной нагрузки, и полная эффективная площадь рассеяния в основном определяются размерами и структурой рефлектора антенны. Замена нагрузки на короткое замыкание мало изменяет эффективную площадь рассеяния. Использование рассеивающих свойств антенны может использоваться средствами радиотехнической разведки, работающими в широком диапазоне частот. Поэтому исследование характеристик рассеяния рамочных антенн проведено в широкой полосе частот с коэффициентом перекрытия, равным 8. Показано, что максимум эффективной площади рассеяния наблюдается на частоте  $f=(0,7-0,8)f_0$ , где  $f_0$  — средняя частота рабочего диапазона рамочной антенны в режиме передачи. Следовательно, уменьшать ЭПР рамочной антенны необходимо в ее рабочем диапазоне частот, но эту задачу нельзя решить путем изменения нагрузки на входе антенны. Уменьшение ЭПР возможно путем изменения структуры рефлектора. Однако изменение структуры рефлектора не должно ухудшать характеристики излучения антенны.

### **SCATTERING CHARACTERISTICS OF FRAME AERIALS IN THE WIDE STRIP OF FREQUENCIES**

ALRIFAI ABDOUL MOUEN, O.A. YURTSEV

#### **Abstract**

The scattering diagram and radar cross-section of two types of frame antennas is considered: the double frame antenna from wave short-circuited frame and two-wave opened frame. Results of numerical modeling with use of a method of the moments are presented.

#### **Литература**

1. Вычислительные методы в электродинамике. / Под ред. Р. Митры. М., 1977. 485 с.
2. Еремин В.Б., Панычев С.Н. // Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 8. С. 61–70.