

ИССЛЕДОВАНИЕ РУПОРНО-ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ТЕМ-АНТЕННЫ

Н. А. Ефимова^{1,2}, В. А. Калошин¹, Е. С. Мартынов¹, Е. А. Скородумова^{1,2}

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

²Московский технический университет связи и информатики

Получена 12 декабря 2011 г.

Аннотация: На основе метода конечных элементов проведено исследование согласования и характеристик излучения рупорно-параболической ТЕМ антенны в сверхширокой полосе частот. Рассмотрено два варианта возбуждения: непосредственно коаксиальной линией и с использованием плавного перехода от коаксиальной к полосковой линии.

Ключевые слова: сверхширокополосные антенны, ТЕМ-рупор, параболическое зеркало.

Abstract. On the basis of the finite element method characteristics of the radiation horn-parabolic TEM antennas have been obtained in UWB band. Two variants of excitation - using coaxial line and using a smooth transition from coaxial to strip line have been reviewed.

Keywords: UWB antennas, TEM-horn, parabolic dish.

В качестве сверхширокополосных антенн в УКВ-СВЧ диапазонах волн широко используются биконические ТЕМ антенны и ТЕМ рупоры (см., например, [1]). ТЕМ-рупоры (рис.1) обладают большей направленностью, чем биконические и поликонические [2] антенны. Однако на практике нередко возникают задачи, требующие еще большей направленности. В данной работе для повышения коэффициента усиления ТЕМ-рупора предлагается использовать фазовый корректор в виде вырезки из параболоида вращения (см. рис. 2). Следует отметить, что использование параболических зеркал в качестве корректора фазы

пирамидальных и круглых рупоров широко известно, и такие антенны получили название рупорно-параболических [3]. Поэтому в дальнейшем исследуемую антенну по аналогии будем называть рупорно-параболической TEM-антенной.

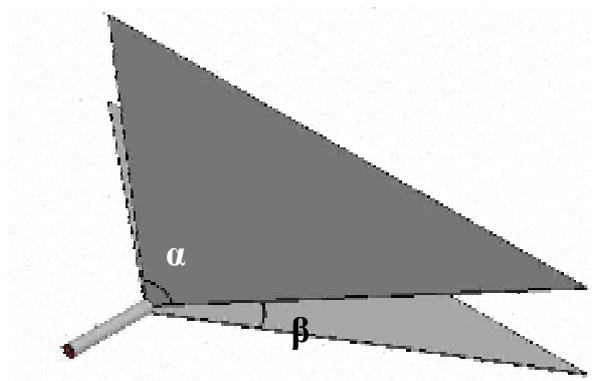


Рис. 1. Геометрия
TEM-рупора.

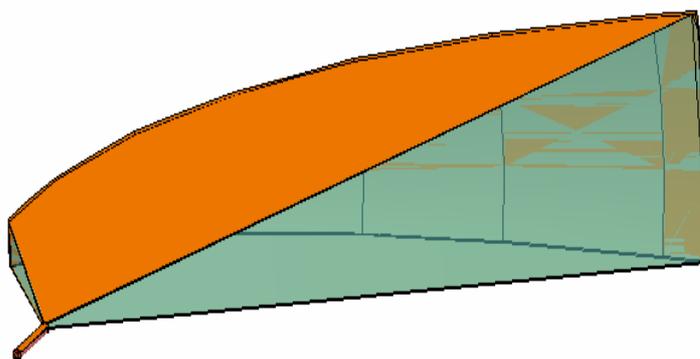


Рис. 2. Геометрия
рупорно-параболической TEM антенны.

В качестве возбуждителя TEM рупора будем использовать 50-омную коаксиальную линию. В исследуемой рупорно-параболической TEM антенне оси параболоида и коаксиальной линии совпадают с линией пересечения плоскостей симметрии рупора. В результате волновой фронт TEM моды рупора остается ортогональным его стенкам после отражения от параболического зеркала. Это позволяет избежать возникновения краевых волн на кромках, образованных пересечением стенок рупора с параболоидом. Фокус параболического зеркала располагается в начале рупора, в месте соединения с возбуждителем

В работе рассмотрено два варианта возбуждения антенны. Первый из них – непосредственное возбуждение коаксиальной линией, а второй – с использованием плавного (линейного) перехода от коаксиальной к полосковой линии (см. рис. 3).

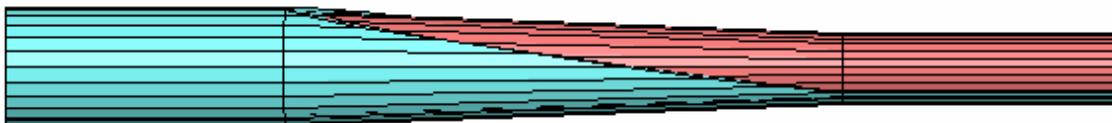


Рис. 3. Переход от коаксиальной к полосковой линии.

Начальный и конечный диаметр, а также угол среза коаксиальной линии выбирались из условия обеспечения 50-Омного сопротивления в начальном и конечном сечениях. При этом качестве первого приближения использовались результаты расчета по формуле для волнового сопротивления коаксиальной линии со щелью из работы [4]. Затем проводилась оптимизация с целью минимизации коэффициента отражения в полосе частот путем численного моделирования.

Как известно, к числу недостатков TEM-рупоров, согласованных с 50-омной коаксиальной линией, относится большая разница в углах α и β . Для того чтобы уменьшить эту разницу TEM-рупор был заполнен диэлектриком. В качестве примера рассматривался рупор, заполненный материалом с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 1.7$. При величине угла $\alpha = 90^\circ$, угол β , обеспечивающий согласование с 50-омной линией, в соответствие с результатами работы [5], был выбран равным 25° .

Исследование TEM-рупорно-параболической антенны проводилось на основе электродинамического моделирования методом конечных элементов. Минимальное расстояние от вершины рупора до параболического зеркала составляло 28 мм, максимальное – 170 мм.

Результаты исследования зависимости коэффициента отражения от частоты представлены на рис. 4. Синяя линия соответствует возбуждению рупора непосредственно 50-омной коаксиальной линией, красная линия – с

использованием плавного перехода. Зеленой линией показана зависимости коэффициента отражения от частоты для TEM рупора, заполненного диэлектриком. Как видно из рисунка, рупорно-параболическая TEM антенна

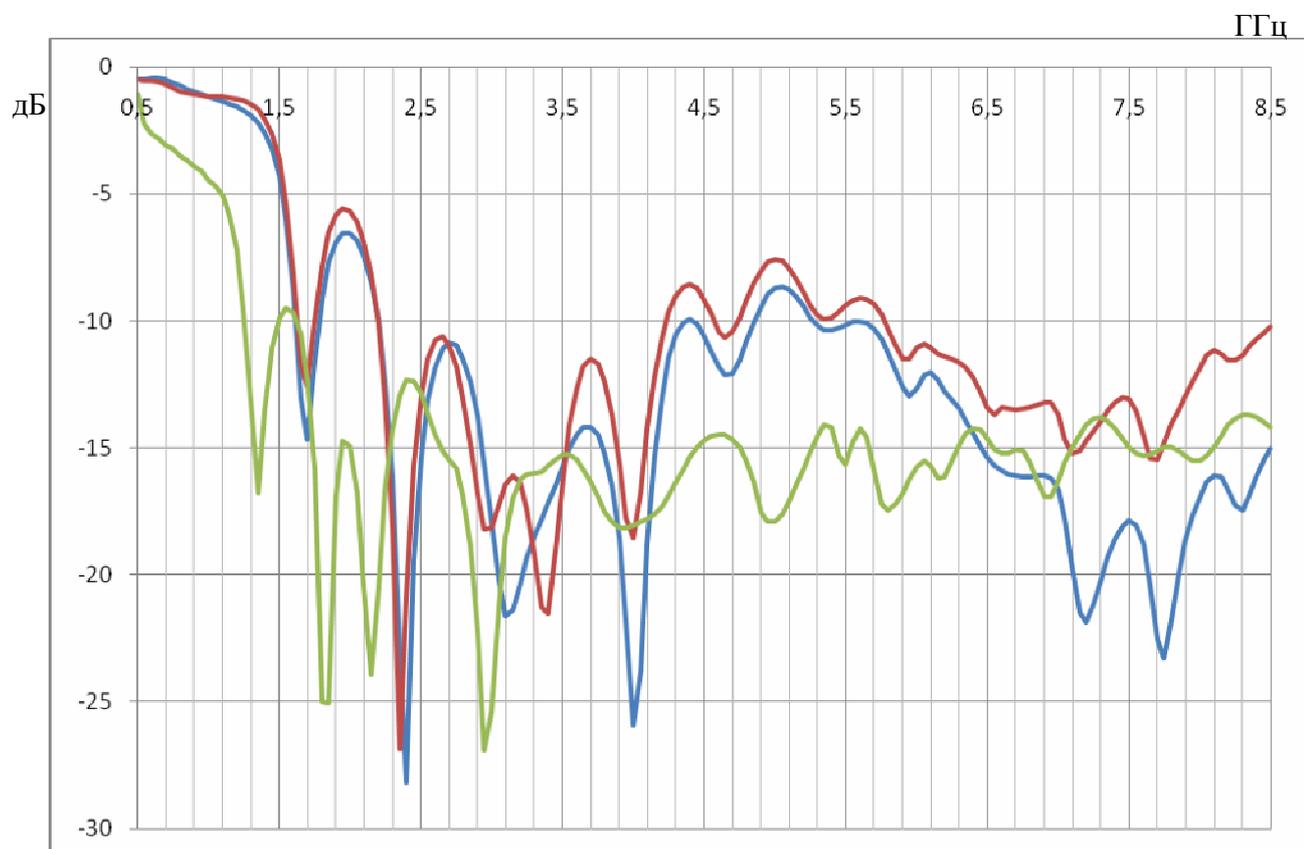


Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения от частоты.

согласована хуже, чем TEM-рупура. При этом разница в коэффициенте отражения для двух случаев возбуждения незначительна, а наличие плавного перехода согласование даже несколько ухудшает.

На рис. 5 показаны зависимости коэффициента усиления рупорно-параболической антенны от частоты для двух случаев возбуждения: непосредственно коаксиальной линией (красная линия) и с использованием плавного перехода (синяя линия). Зеленой линией на рисунке показана зависимость коэффициента усиления TEM-рупура. На рис. 6 теми же цветами представлены аналогичные зависимости для КИПа.

Как видно на рис.5, разница в усилении ТЕМ-рупора и рупорно-параболической антенны при одинаковой длине невелика. Однако следует учитывать меньшую величину апертуры у рупорно-параболической антенн, что приводит в данном случае к большей величине КИПа (см.рис.6).

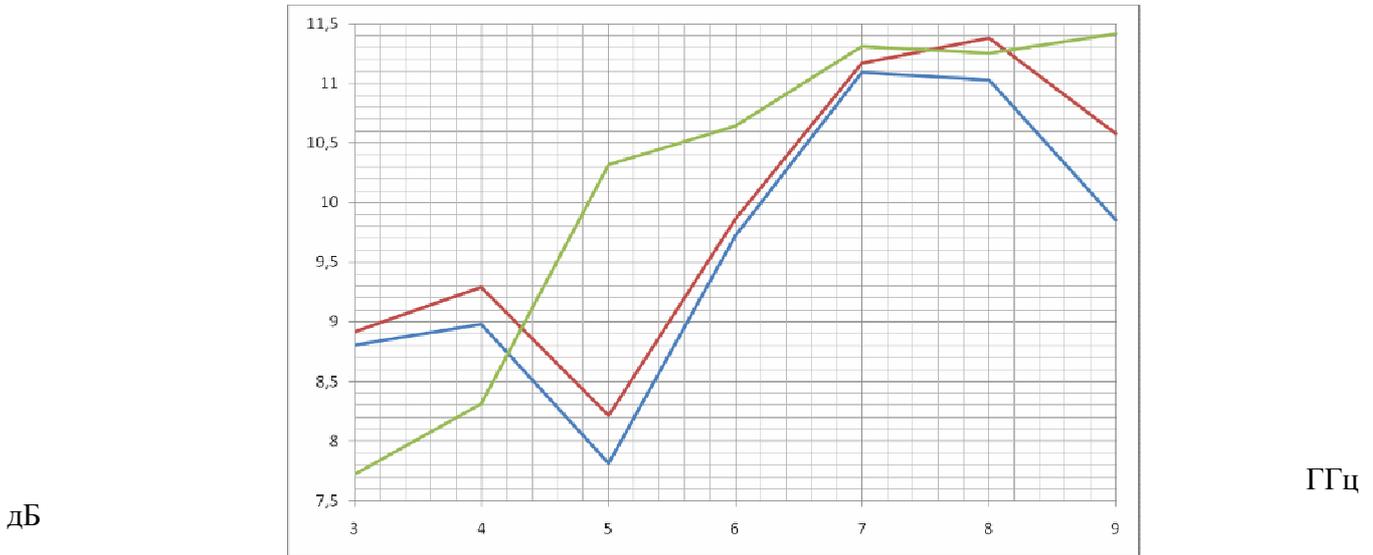


Рис. 5. Зависимость коэффициента усиления от частоты.

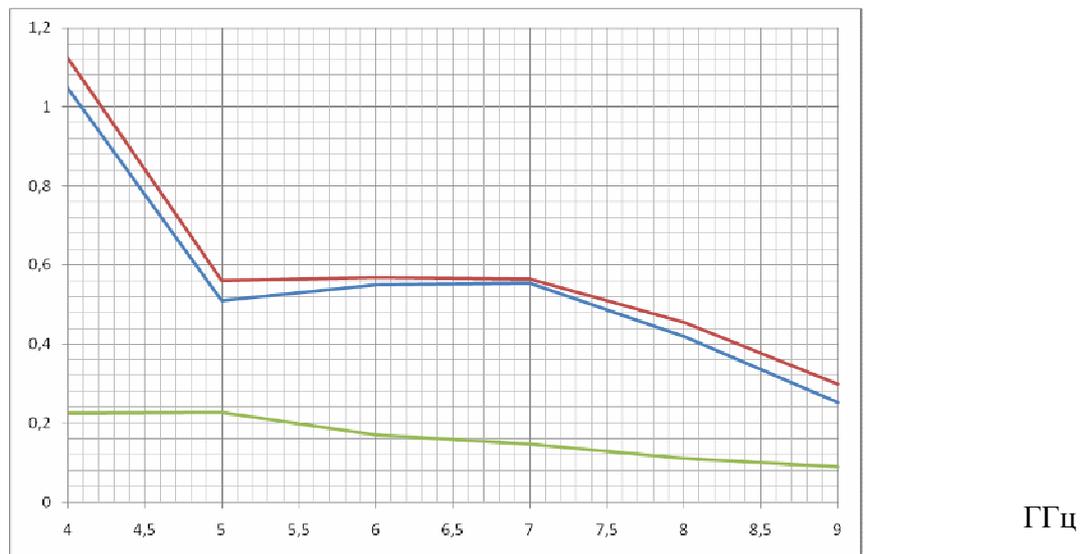


Рис. 6. Зависимость КИПа от частоты.

На рис. 7 показаны диаграммы направленности рупорно-параболической ТЕМ-антенны для трех частот в Е- и Н-плоскости. Синяя линия соответствует

частоте $f = 3$ ГГц, красная линия - $f = 5$ ГГц, а зеленая - $f = 7$ ГГц. На рис.7 видно, что на высоких частотах главный лепесток диаграммы направленности раздваивается, что приводит к уменьшению КИПа. При этом характеристики излучения практически также как и согласования слабо зависят от способа возбуждения антенны.

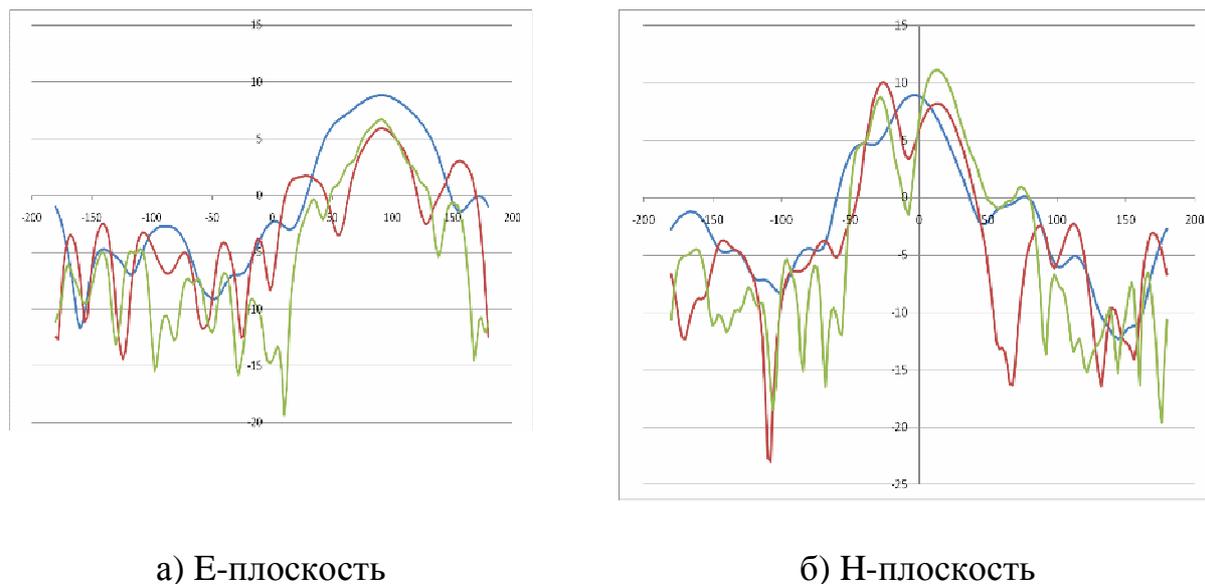


Рис. 7. Диаграммы направленности в обеих плоскостях рупорно-параболической TEM-антенны.

Для улучшения характеристик излучения был предложен и исследован модифицированный вариант рупорно-параболической антенны, стенки рупора которой продолжались до апертуры дополнительными экранами (рис.8). При этом углы между боковыми стенками рупора и дополнительными экранами выбирались таким образом, чтобы форма излучающей апертуры была прямоугольной.

Результаты исследования зависимости коэффициента отражения модифицированной рупорно-параболической TEM-антенны от частоты представлены на рис. 9. Синяя линия соответствует возбуждению рупора непосредственно 50-омной коаксиальной линией, красная линия - с использованием плавного перехода. Зеленой линией показана зависимости коэффициента отражения от частоты для немодифицированной рупорно-

параболической ТЕМ-антенны, а фиолетовой - обычного рупора с диэлектриком. Как видно из рисунка, разница в согласовании рупорно-параболической ТЕМ антенны и модифицированной рупорно-параболической ТЕМ антенны невелика.

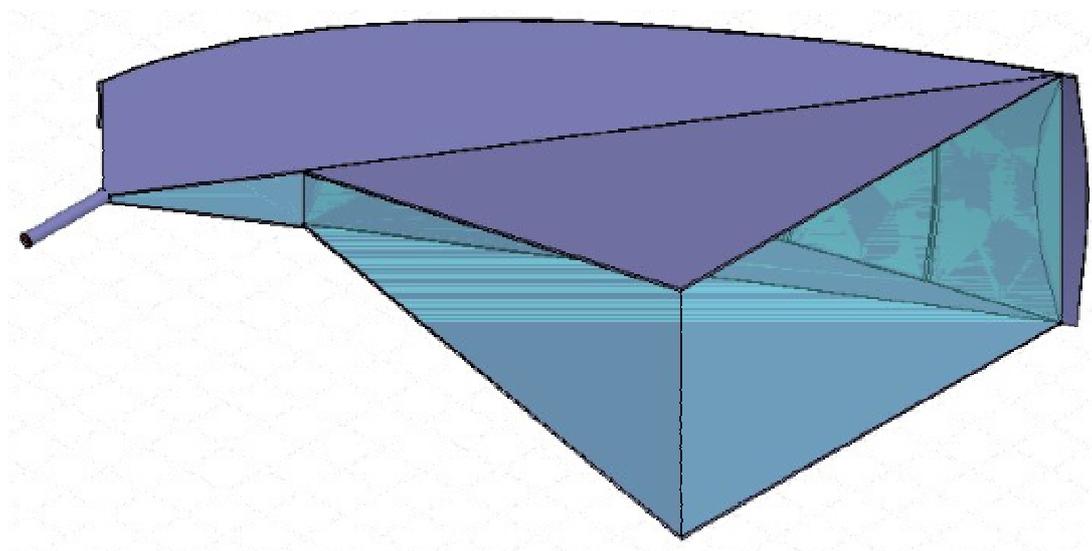


Рис. 8. Модифицированная рупорно-параболическая ТЕМ-антенна.

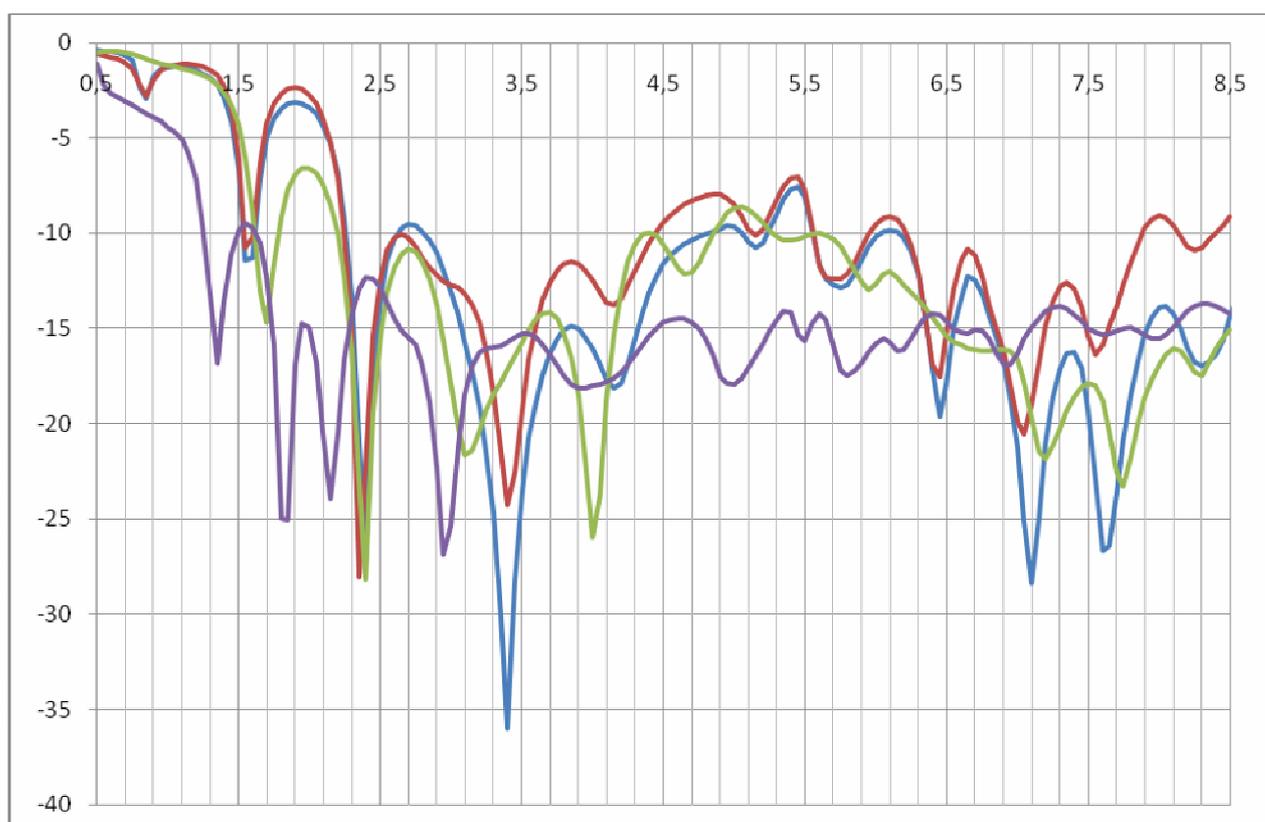


Рис. 9. Зависимость коэффициента отражения от частоты.

На рис. 10 показаны зависимости коэффициента усиления антенны от частоты (теми же цветами как и на рис.9). На рис. 11 теми же цветами представлены аналогичные зависимости для КИПа, а на рис. 12 – для уровня боковых лепестков. Как видно из рисунков, модификация геометрии рупорно-параболической ТЕМ антенны приводит к значительному увеличению величины коэффициента усиления и КИПа, а также понижению уровня боковых лепестков.

На рис. 13 показаны диаграммы направленности модифицированной рупорно-параболической ТЕМ-антенны для трех частот в Е- и Н-плоскости. Синяя линия соответствует частоте $f = 3$ ГГц, красная линия $f = 5$ ГГц, а зеленая – $f = 7$ ГГц. Видно, что диаграмма направленности на всех частотах сохраняет однолепестковый характер, причем ширина главного лепестка монотонно падает с увеличением частоты.

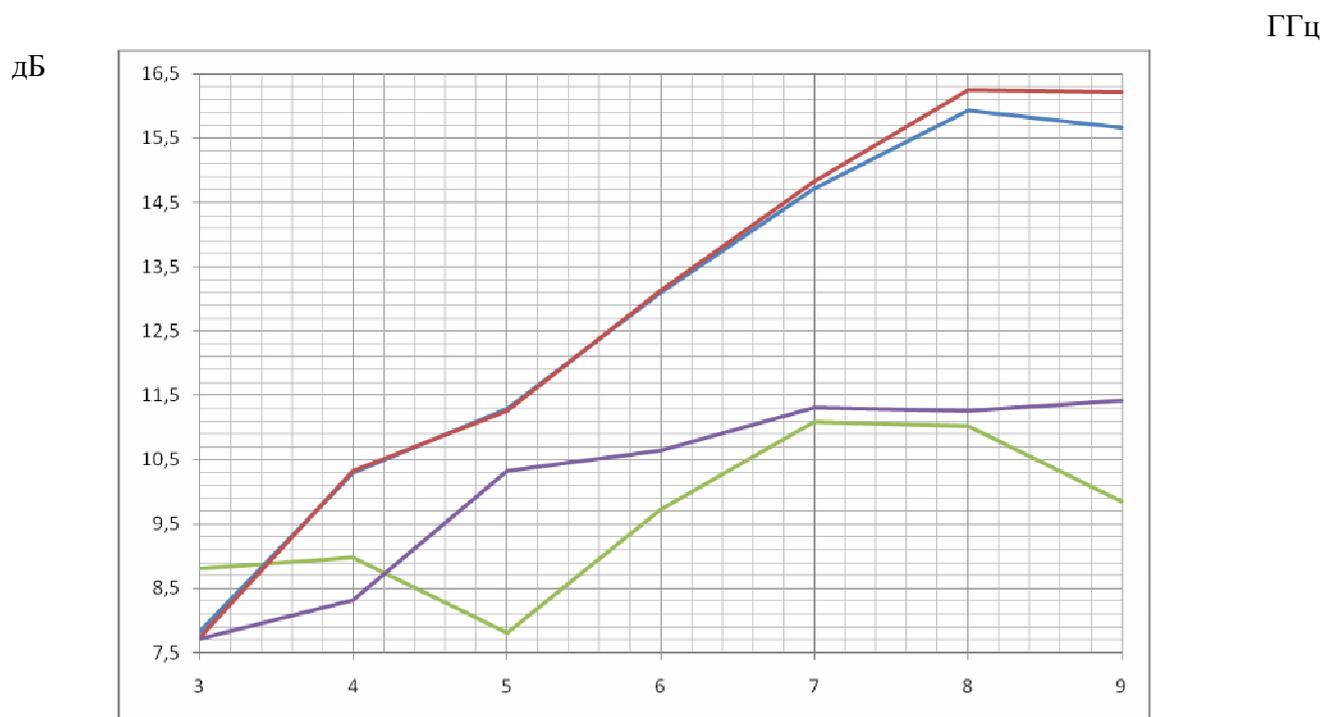


Рис. 10. Зависимость коэффициента усиления антенны от частоты.

дБ

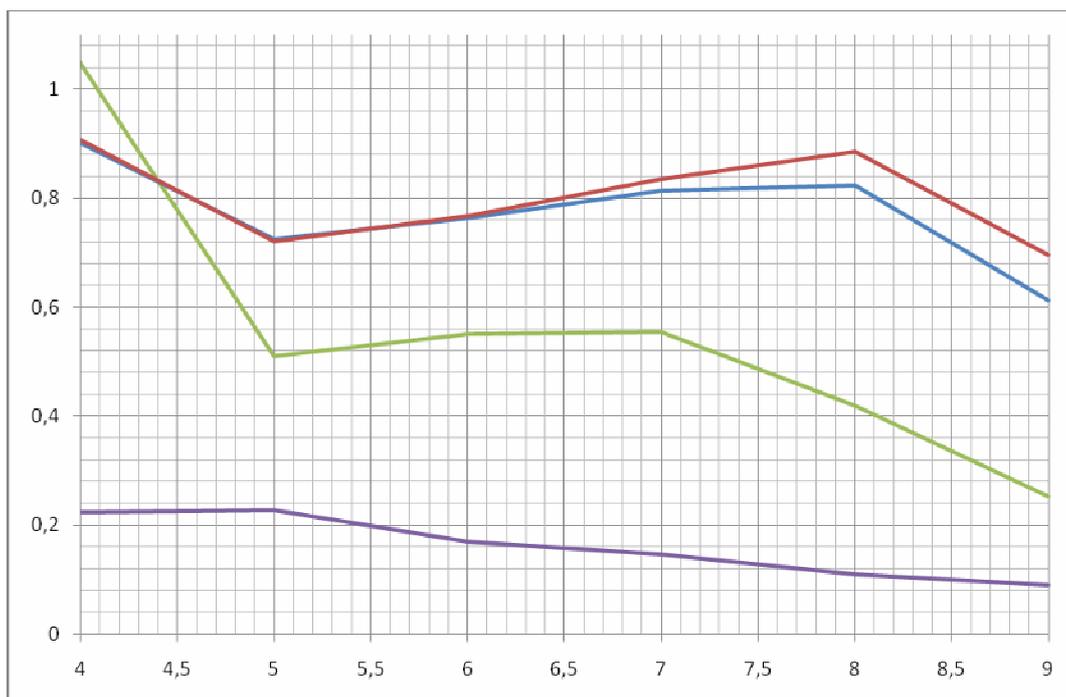


Рис. 11. Зависимость КПД антенны от частоты.

дБ

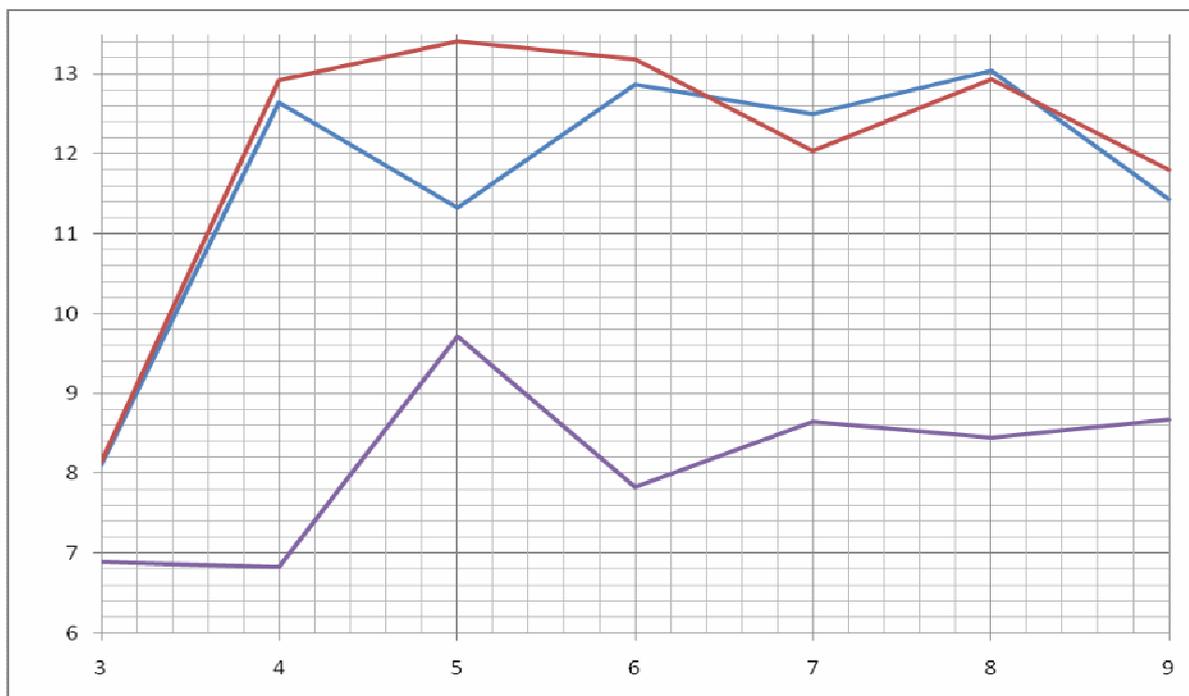


Рис. 12. Зависимость уровня боковых лепестков от частоты.

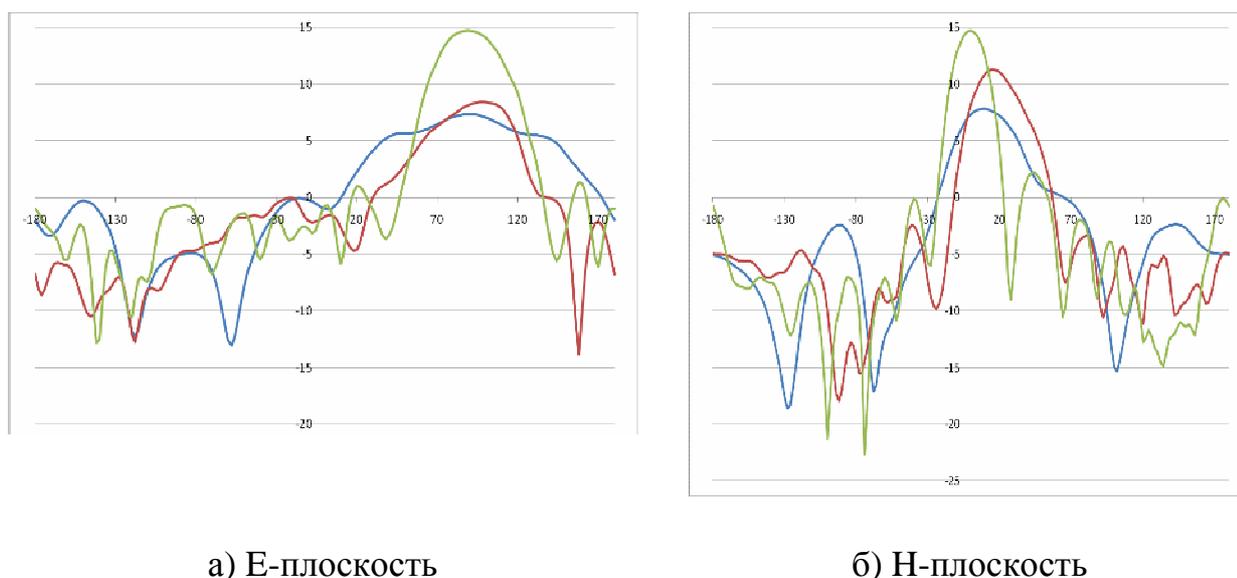


Рис. 13. Диаграммы направленности в обеих плоскостях модифицированной рупорно-параболической ТЕМ-антенны.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №10-07-00705-а).

Литература

1. E.G. Farr, C.E. Baum, W.D. Prather, L.H. Bowen. Ultra-Wideband, Short-pulse Electromagnetics 4, 1999, p. 131–144.
2. В.А. Калошин, Е.С. Мартынов, Е.А. Скородумова, Исследование характеристик поликонической антенны в широкой полосе частот. // Радиотехника и электроника, 2011, Т. 56, №9, с. 1094–1098.
3. Г.З. Айзенберг, В.Г. Ямпольский, О.Н. Терехин. Антенны УКВ, Т.1, М. «Связь» – 1977 г.
4. М.А.Р. Ганстон. Справочник по волновым сопротивлениям фидерных линий СВЧ, М. «Связь» – 1976 г.
5. Gu Min, Yang Feng, Calculation of the characteristic impedance of TEM horn antenna using support vector machine. Proceedings of International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), 2010, p. 895–897.