

## **Влияние формы изгиба токоведущих шин с эллиптическим профилем на направленность СШП ТЕМ рупора**

Б.С. Ставцев, А.М. Терентьев

*Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская д.13, E-mail: aleksejj-te00@rambler.ru*

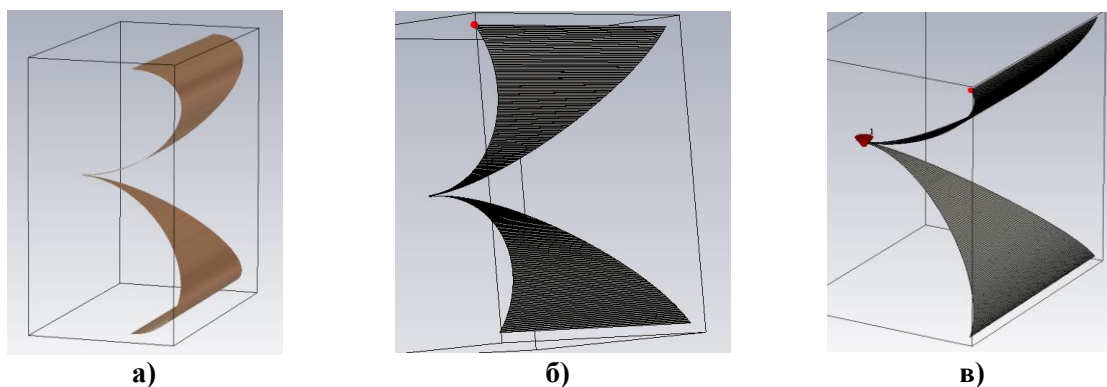
*В статье приведены варианты построения СШП ТЕМ рупоров с эллиптическим профилем токоведущих шин. Представлены и проанализированы результаты расчета их диаграмм направленности в широкой полосе частот, сделаны предварительные выводы о возможных применениях этих моделей антенн в прикладных задачах.*

*The article presents the options of UWB TEM horns with elliptical profile conductor lines. Results of the calculation of their directional patterns in a wide band of frequencies, preliminary conclusions about the possible applications of these models of antennas in applied problems are presented and analyzed.*

В настоящей работе представлены некоторые результаты исследований влияния формы изгиба токоведущих шин с эллиптическим профилем на характер направленности излучения СШП ТЕМ рупора в широкой полосе частот. Модели рупоров с эллиптическим профилем токоведущих шин были спроектированы на основе принципов, изложенных в работе [1]. Здесь предполагалось, что излучение в направлении, противоположном рабочему, может быть ослаблено с помощью перегородок из радиопоглощающих материалов. Для малых мощностей такой подход приемлем. Но при высоких мощностях излучение в указанном направлении может порождать серию проблем. Одни связаны с необходимостью отвода тепла от нагреваемых излучением материалов и влиянием излучения на биологические объекты. Другие проблемы связаны с отражениями от элементов конструкции антенны или решётки и могут приводить к искажению ДНА на различных участках рабочего диапазона частот, что особенно нежелательно при работе в ограниченном диапазоне частот.

В аспекте перечисленных проблем были рассмотрены модели трёх вариантов рупоров. В первом варианте эллиптический изгиб токоведущих шин был продолжен назад с учётом известных рекомендаций, упомянутых в работе [1]. Изгиб шин второго рупора имеет ту же форму, что и первый (рисунок 1б), однако обратный изгиб шин отсутствует полностью.

Размеры раскрывов рупоров 2 и 3 составляют 160 x 160 мм, раскрыв 1 рупора отличается от раскрывов 2 и 3 рупоров приростом вертикального размера, пропорционального величине обратного изгиба шин. Значение входного волнового сопротивления рупоров выбрано равным 50 Ом. Сравнительная оценка характеристик моделей рупоров в полосе частот от 0,5...26 ГГц была произведена расчётным методом, основанном на разработке и численном анализе характеристик антенных устройств. На рисунке 2 представлены семейства ДНА перечисленных моделей рупоров в двух перпендикулярных сечениях ( $\theta$ - и  $\phi$ -плоскостях), одно из этих сечений совпадает с плоскостью симметрии антенны. ДНА рупоров в каждом из сечений рассчитывались для частот с шагом 0,5 ГГц в диапазоне 0,5...26 ГГц. На рисунке 2 ДНА по мощности представлены в системе координат «угол-частота», позволяющей визуально оценить направленные свойства рупоров в широкой полосе частот.



**Рис. 1. Варианты эллиптических профилей токоведущих шин рупоров:**  
**а) рупор 1 – с обратным изгибом шин, коэффициент эллиптичности равен 2 ( $K_{эл}=2$ )**  
**б) рупор 2 – безобратного изгиба шин,  $K_{эл}=2$**   
**в) рупор 3 – без обратного изгиба шин,  $K_{эл}=3$**

На графиках рисунка 2 горизонтальные оси указывают угол обхода рупора в соответствующей  $\theta$ - или  $\varphi$ -плоскости. Вертикальные оси показывают частоту, проградуированную в гигагерцах. Относительные уровни излучения, проградуированные в децибелах, выражены на графиках цветовой гаммой в соответствии с градуировочной шкалой, расположенной справа от каждого графика. Из сопоставления представленных диаграмм можно сделать следующие выводы.

1. Главный лепесток 1 рупора в обоих сечениях выгодно отличается от главных лепестков 2 и 3 рупоров за счёт постоянства ширины ДН, усиления и крутизны спада ДН на протяжении всего частотного диапазона, вплоть до 2...4 ГГц.

2. Превышение пикового уровня излучения в прямом направлении над пиковым уровнем излучения в обратном направлении в диапазоне 2,5...26 ГГц составляет, примерно, 8 дБ для рупора 1 и, примерно, 15 дБ для рупоров 2 и 3.

3. Главный лепесток рупора 1 отличается более выгодной структурой боковых лепестков, что особенно заметно на средних (начиная с 4 ГГц) и высоких частотах. Очевидно, обратный изгиб токоведущих шин назад резко уменьшает отражение от концов шин, направляя эту энергию назад.

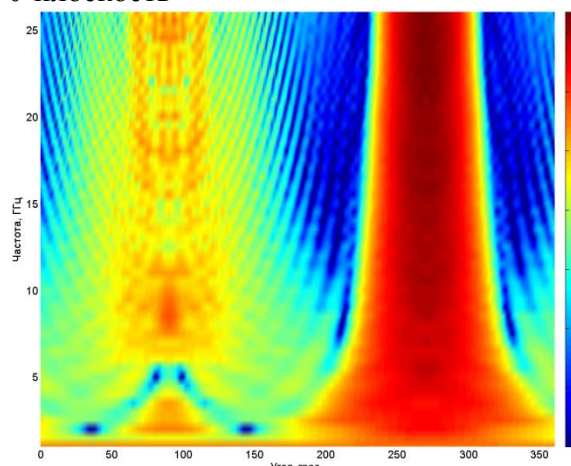
4. Отражение от концов токоведущих шин у 2 и 3 рупоров приводит к некоторой модуляции ширины ДН, однако обратное излучение рупоров значительно меньше почти во всём диапазоне частот.

5. Рупор 1 может быть использован при излучении малых и средних мощностей коллимационным способом, а также в ближней радиолокации («видеолокации»), например, при подповерхностном зондировании сред. В последнем случае у рупора с изгибом токоведущих шин назад есть преимущество – при прочих равных условиях он имеет более низкую граничную частоту своего рабочего диапазона, благодаря введению обратного изгиба. Подавление обратного излучения этих рупоров может быть организовано с помощью радиопоглощающих материалов и экранирующего кожуха.

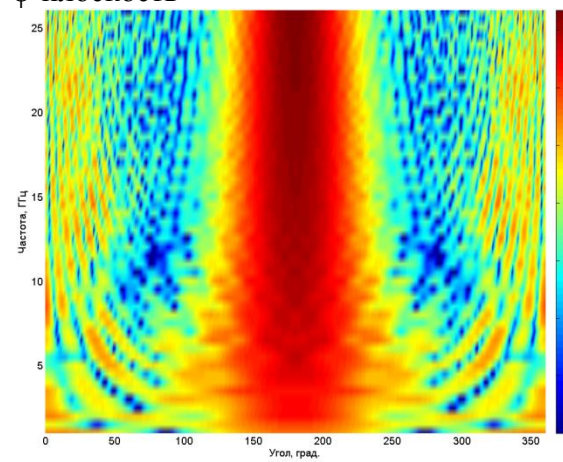
6. Рупора 2 и 3, после дополнительной доработки, могут быть использованы в составе антенных решёток (АР). Использование в составе АР 1 рупора, на данном этапе исследований, ограничено только сравнительно большим уровнем обратного излучения, противоположного рабочему. В общем случае, наличие рефлектора в АР бывает полезно только для узкополосного случая. В широкополосном случае, а тем более в сверхширокополосной АР наличие такого рефлектора приведёт к амплитудно-фазовым искажениям, которые исказят ДН, формируемые АР. Использование РПМ для

устранения влияния обратного излучения на больших мощностях связано с проблемами отвода тепла от поглотителя СВЧ энергии.

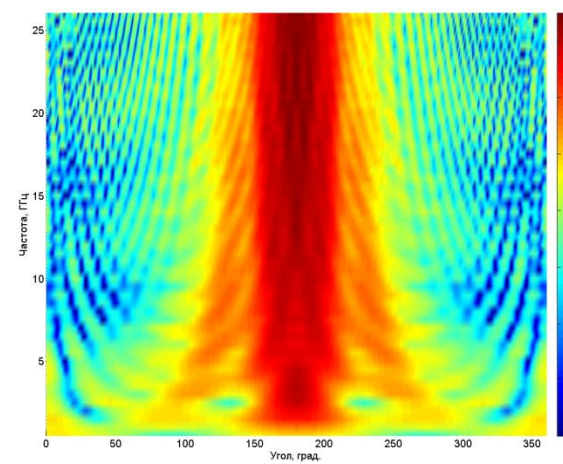
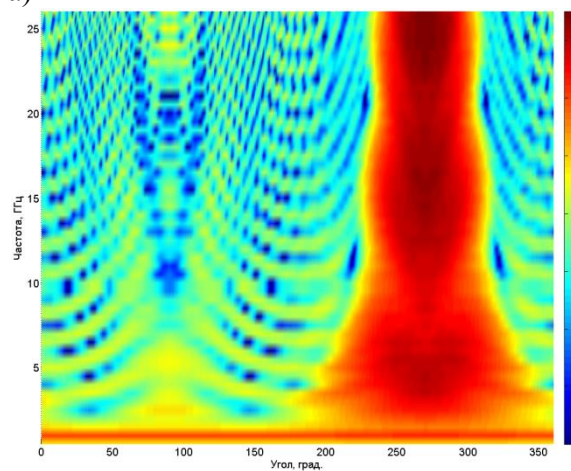
$\theta$ -плоскость



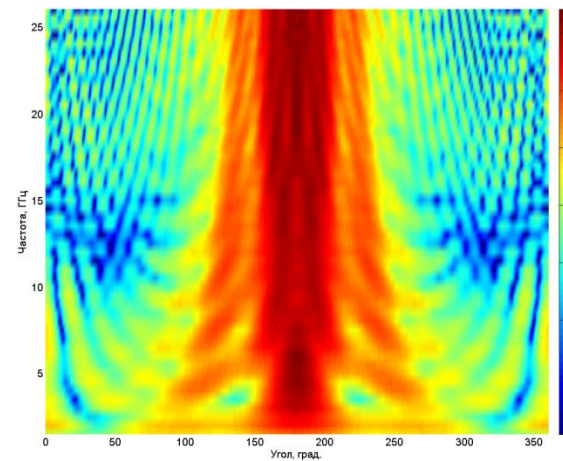
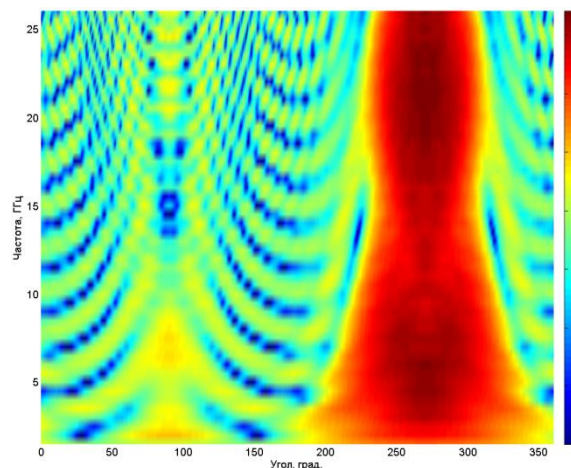
$\phi$ -плоскость



а)



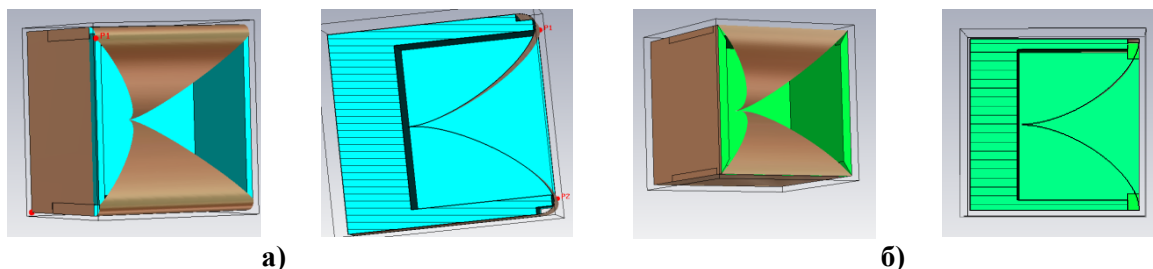
б)



в)

Рис. 2. Семейства ДНА в  $\theta$ - и  $\phi$ -плоскостях незранированных рупоров: а) первого, б) второго, в) третьего.

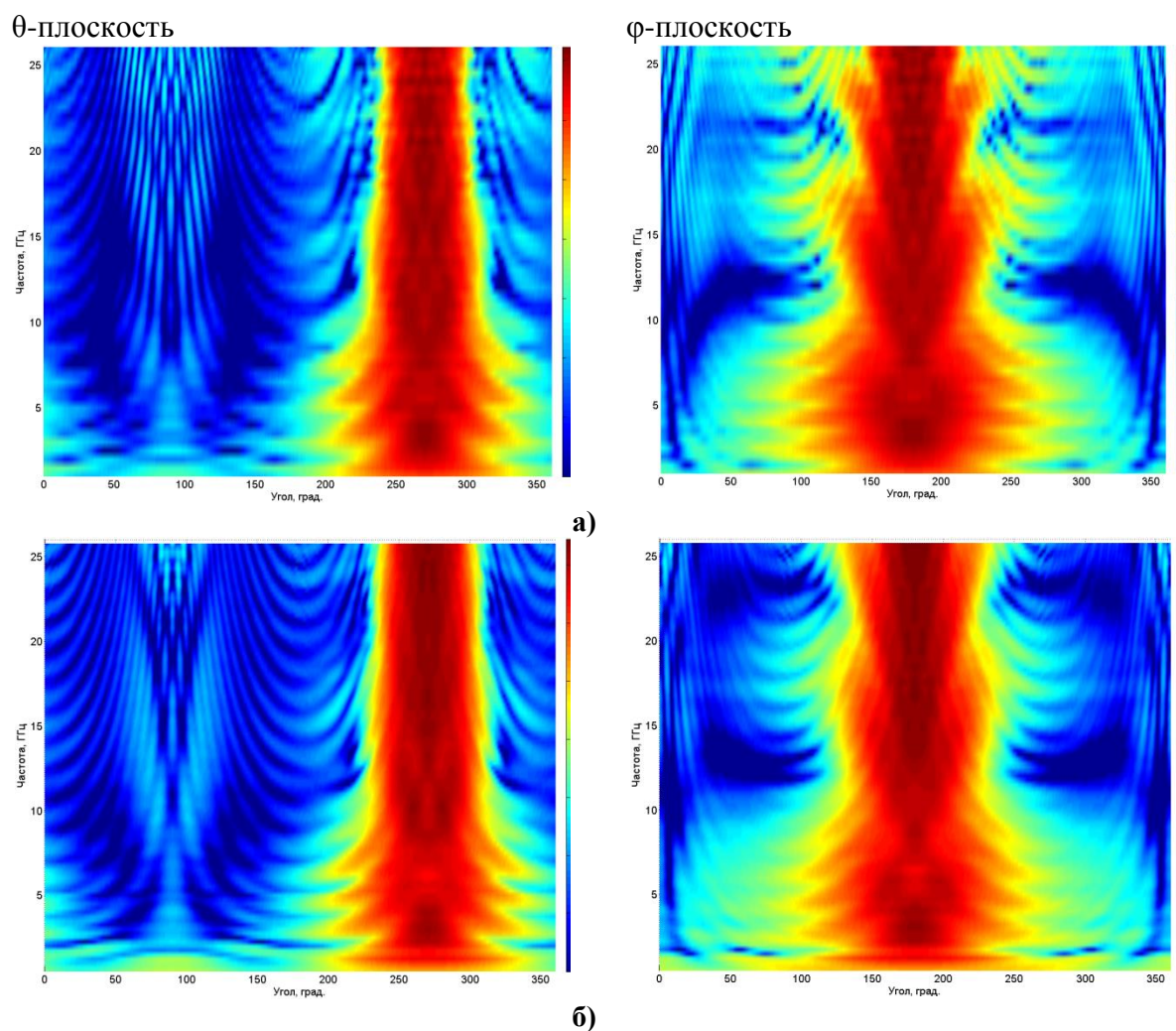
Для подтверждения некоторых выводов на данном этапе были смоделированы несколько вариантов рупоров с частичным подавлением неглавных лепестков излучения. На рисунке 3а представлена модель экранированного рупора с токопроводящими шинами, расходящимися по эллиптическому закону ( $K_{эл}=2$ ) и изогнутыми по тому же закону назад. На рисунке 3б представлена модель экранированного рупора с шинами, расходящимися по эллиптическому закону с  $K_{эл}=2$ , но без изгиба шин назад. В моделях, для уменьшения обратного излучения, использован виртуальный аналог радиопоглощающего материала ECCOSORB LS-XX, разработанного фирмой EMERSON & CUMING. Этот материал широко используется в качестве покрытия поверхностей безэховых камер и при решении других задач. Физический материал выдерживает температуру от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $93^{\circ}\text{C}$  и представляет собой вспененный полиуретан, пропитанный углеродной (графитовой) токопроводящей пылью. Материал может быть изготовлен с  $\mu'=1$  и  $\varepsilon'=3-20$  и используется в частотном диапазоне 1...26 ГГц. Поглощение электромагнитной энергии происходит за счёт графита, при этом, например, для материала ECCOSORB LS-18, применённого в моделях рупоров, поглощение составляет 3,2 дБ/см на частоте 3 ГГц, 4,7 дБ/см на частоте 10 ГГц и т.д.



**Рис. 3. Модели экранированных рупоров и их продольные разрезы:**

- а) рупор 4с обратным изгибом,  $K_{эл}=2$**   
**б) рупор 5 без обратного изгиба,  $K_{эл}=2$ .**

На рисунке 4 представлены семейства ДНА рупоров, изображённых на рисунке 3. Характеристики рупоров 4 и 5 были исследованы в полосе частот 0.5...26 ГГц. При сравнении рупоров было обнаружено, что уровень задних лепестков излучения у рупора 4 с уменьшением частоты, начиная с 1 ГГц и ниже, растёт меньше, чем у рупора 5. На ДНА рупоров 4 и 5 в  $\phi$ -плоскости (рис.4), наблюдается некоторая модуляция уровня усиления и ширины ДН. В первом приближении можно сказать, что рупор 5 в лучшую сторону отличается от рупора 4 меньшим уровнем задних и боковых лепестков, начиная с 1 ГГц и вплоть до 26 ГГц, чуть большей стабильностью ширины диаграмм усиления рупора 5. Кроме того, признаки сверхширокополосности дополнительно подтвердили семейства ДНА рупора 5, построенные в диапазоне частот, вплоть до 40 ГГц (в статье диаграммы не приводятся). Изменения ширины ДНА при заметном росте длины волны и уменьшение их уровня на низких частотах вполне закономерны и характерны для СШП рупоров. В целом, это подтверждает правильность выбора способа построения СШП рупора, принципы которого были изложены в работе [1]. Таким образом, на данном этапе исследований вариантов построения СШП рупоров приоритетной моделью рупора, предназначенного для излучения малых и средних СВЧ мощностей (по критерию минимума задних и боковых лепестков) может быть выбран экранированный рупор 5. Это рупор с токопроводящими шинами, расходящимися по эллиптическому закону с  $K_{эл}=2$ , без обратного изгиба шин назад, помещённого в экранирующий кожух. Задние и боковые лепестки излучения рупора частично поглощаются РПМ, размещённым внутри кожуха.



**Рис.4.Семейства ДНА рупоров 4 и 5 в  $\theta$ - и  $\phi$ -плоскостях ( $K_{э,л}=2$ ):**

**а) рупор 4 с обратным изгибом шин,**

**б) рупор 5 без обратного изгиба шин.**

### **Литература**

1.Ставцев Б.С., Шалдаев С.Е. Некоторые физико-технологические аспекты построения СШП ТЕМ рупоров РЛС. Труды XXVII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», ВКА имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 2012.