

УДК 621.396.6

## **Многофункциональная бортовая антенная решётка интегрированного радиоэлектронного комплекса**

С.Г. Кондратьева

Аннотация. Разработана электродинамическая модель моноимпульсной антенной решётки из рупорных излучателей. Определены характеристики направленности и схема построения антенной решётки.

Ключевые слова: рупорные антенные решетки; моноимпульс; механическое сканирование; гальванопластика.

### **Введение**

Бортовые антенны имеют существенные особенности, связанные со следующими факторами: размеры летательного аппарата и обтекателя накладывают ограничения на размеры антенны, антенное полотно вместе с распределительной системой должно иметь малую глубину для размещения в выделенном объеме, к основным характеристикам можно также отнести массогабаритные и стоимостные характеристики.

Рупорная антенная решётка с волноводной распределительной системой имеет малые потери и обеспечивает работу в достаточно широкой полосе частот. Реализация антенны на стандартных элементах волноводного тракта с использованием фланцевых соединений и крепежа не удовлетворяет требованиям к массогабаритным характеристикам бортовых антенн. Поэтому целесообразно при изготовлении антенной системы использовать современные технологии, позволяющие объединить все элементы излучающей и распределительной системы в единый блок. Таким образом, можно отдельно рассматривать антенное полотно, состоящее из рупорных излучателей и распределительную систему. Однако, для формирования моноимпульса в горизонтальной плоскости необходимо, чтобы разность фаз между двумя равными половинами антенного полотна составляла  $180^\circ$ . Это достаточно просто реализуется с помощью противофазных мостов.

Наиболее компактным вариантом построения распределительной системы является двоичная система, реализованная на E-тройниках с использованием технологии гальванопластики [1]. Примером такой решётки может служить антенна, предназначенная

для приёма сигналов спутникового телевидения [2]. При делении мощности с помощью Е-тройников, в плечах делителя фаза сигнала отличается на 180°, а противофазное деление мощности компенсируется только в двоичной схеме деления. Кроме хороших массогабаритных характеристик, эта распределительная система обладает хорошими фазовыми характеристиками в рабочей полосе частот. Таким образом, целесообразно в антенном полотне размещать элементы по  $2n$ , где  $n$ -целое число.

## Основная часть

Антенная решётка формирует суммарные диаграммы направленности (ДН) при работе на излучение и на приём, а также разностную ДН в азимутальной плоскости при работе на приём. Полотно рупорной антенной решётки образовано 256 излучателями, размещёнными эквидистантно. Между излучателями и элементами распределительной системы предусмотрен технологический зазор 1 мм. Структура размещения элементов – прямоугольная сетка с разными значениями шага по горизонтали и по вертикали.

Требуемый низкий УБЛ=-24 дБ может быть достигнут при использовании спадающего к краям амплитудного распределения, например, распределение вида косинус квадрат на пьедестале:

$$A(x) = \Delta + (1 - \Delta) \cos^2\left(\frac{\pi\xi(x)}{2}\right), \text{ где } \Delta=0,2 \text{ – пьедестал, } \xi(x) = \left(\frac{2x}{d(N-1)}\right).$$

Это амплитудное распределение показано на рис.1.

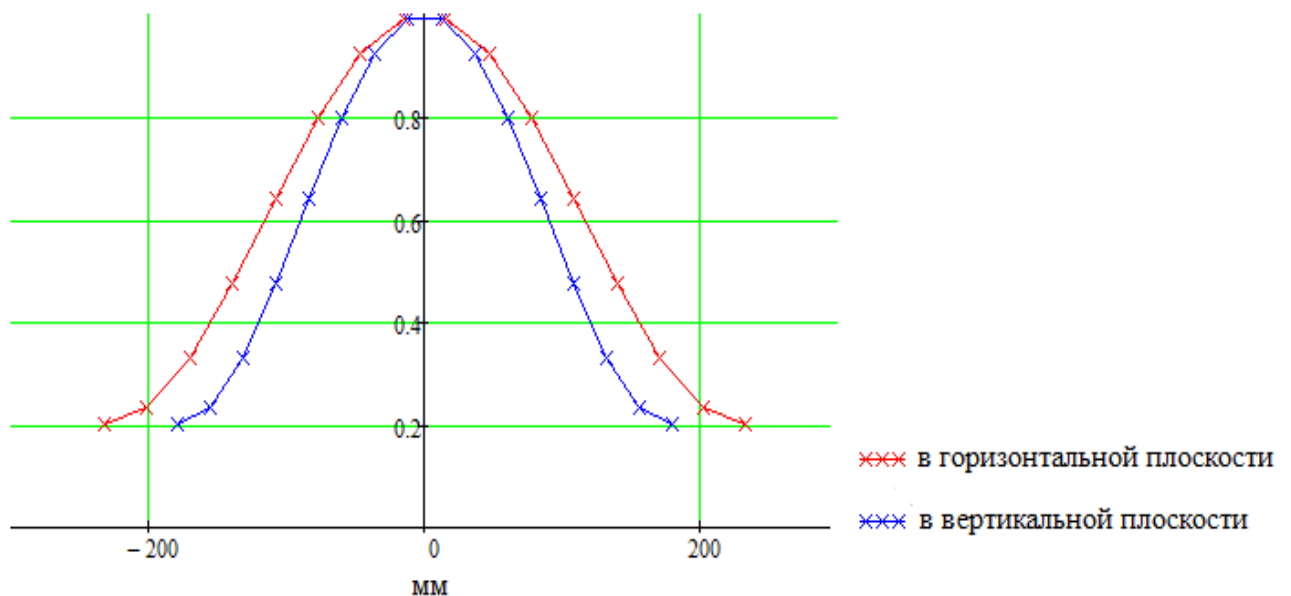


Рис.1. Амплитудное распределение.

Расчёт характеристик направленности целесообразно выполнять с учетом амплитудных и фазовых ошибок [3]. Определим характеристики антенной решетки с учетом амплитудных

ошибок  $\Delta A_n=10\%$  и фазовых ошибок  $\Delta\Phi_n=10^\circ$ . Из практики известно, что максимальные значения ошибок не превышают обычно указанных величин. Расчеты приводятся для равномерного распределения амплитудных и фазовых ошибок по излучателям решетки. На рис.2а показана заданная зависимость фазовой ошибки от номера элемента, на рис.2б показана аналогичная зависимость для амплитудной ошибки.

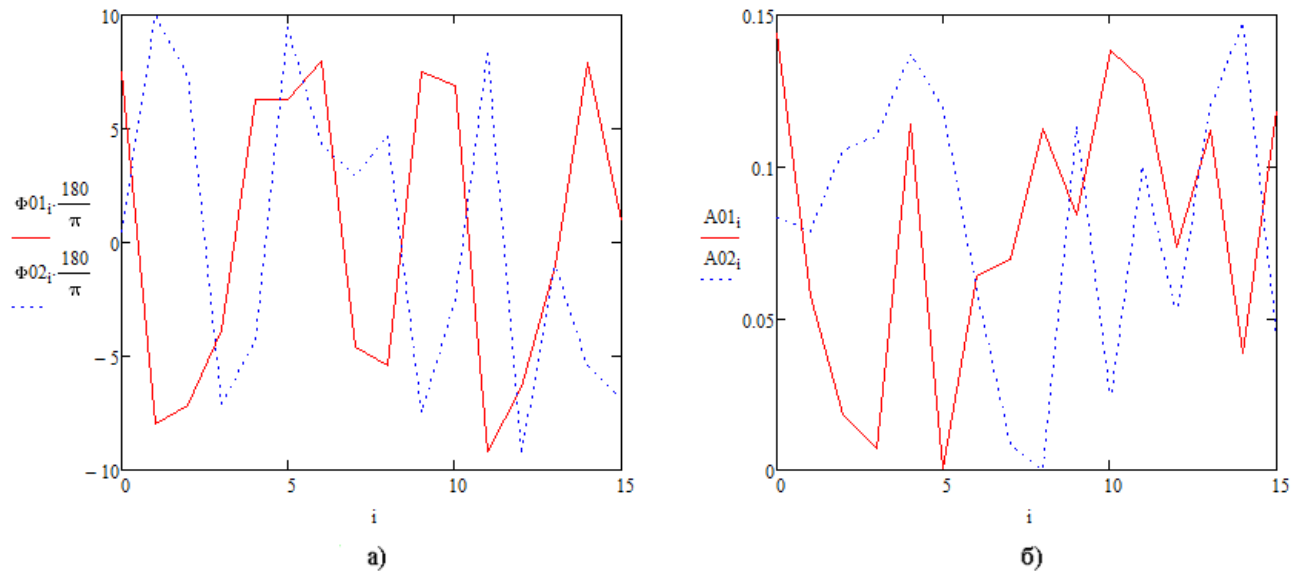


Рис.2 а - зависимость фазовой ошибки от номера элемента, б - зависимость амплитудной ошибки от номера элемента.

На рис.2а сплошной линией показана зависимость фазовой ошибки от номера элемента в горизонтальной плоскости, пунктирной линией – в вертикальной плоскости. Аналогично на рис.2б для амплитудной ошибки.

Предварительные расчёты характеристик направленности элемента антенной решётки позволяют определить оптимальные параметры его конструкции. Размеры излучателя обеспечивают шаг решётки не более длины волны на самой высокой частоте. Рупорные излучатели антенной решётки изготавливаются фрезеровкой или гальванопластикой из диэлектрика с высокой механической прочностью и температурным коэффициентом. Толщину диэлектрика удобно выбирать равной величине технологического зазора 1 мм. Предварительный расчёт рупорного излучателя в первом приближении даёт форму ДН и зависимость характеристик направленности от частоты. Однако по результатам предварительного расчёта трудно оценить степень согласования рупора с фидерным трактом, а также влияние взаимодействия элементов в антенной решётке на характеристики направленности. Выбор излучателя антенной системы также определяется конструктивными требованиями, как ко всей антенне, так и к распределительной (возбуждающей) системе.

Численное электродинамическое моделирование с применением современного программного обеспечения САР позволяет определить характеристики направленности, согласование и оптимальные размеры рупорного излучателя с учётом технологии изготовления. Высокая точность электродинамического моделирования исключает необходимость экспериментальной отработки излучателя в решётке.

Современные пакеты программ, предназначенных для электродинамического моделирования антенн и устройств СВЧ, позволяют также осуществить оптимизацию размеров излучателя. В основном, характеристики направленности рупорной антенны определяются размерами излучающего раскрыва и длиной. Размеры излучающего раскрыва целесообразно принять равными размерам из предварительного расчета, так как при максимальном размере излучающей апертуры рупора получается наименьший УБЛ. Длина рупора определяется допустимыми фазовыми ошибками в раскрыве. Как показывает предварительный расчет, оптимальным значением длины, как по допустимым фазовым ошибкам, так и по массогабаритным характеристикам является  $h=20$  мм. Однако этот параметр выбран с некоторым запасом и может быть уменьшен при необходимости до  $h=18$  мм. На рис.3 показана электродинамическая модель рупорного излучателя при оптимальных размерах и возбуждении волноводом с поперечным сечением  $23 \times 6$  мм.

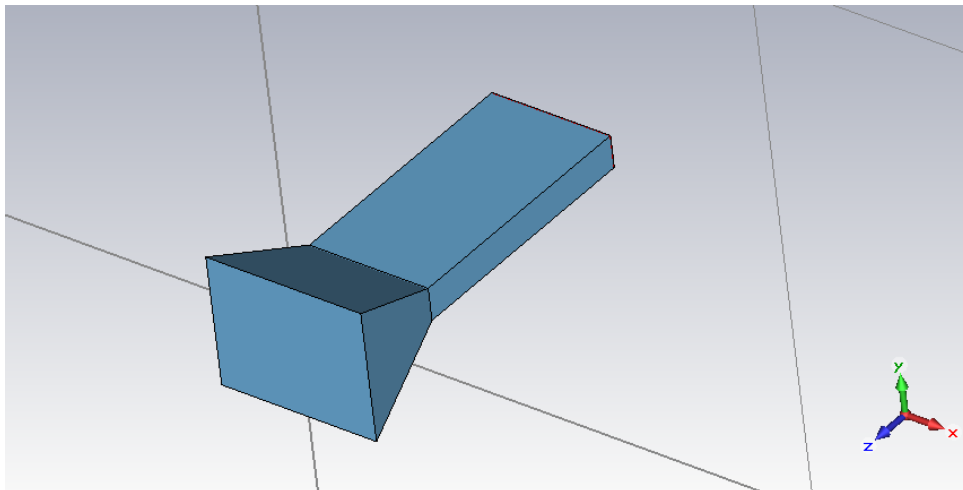


Рис.3. Электродинамическая модель рупорного излучателя.

Рупорные излучатели антенной решетки изготавливаются фрезеровкой. На рис.4 приведена зависимость КСВ излучателя от частоты. На рис.5 приведены парциальные ДН рупорного излучателя.

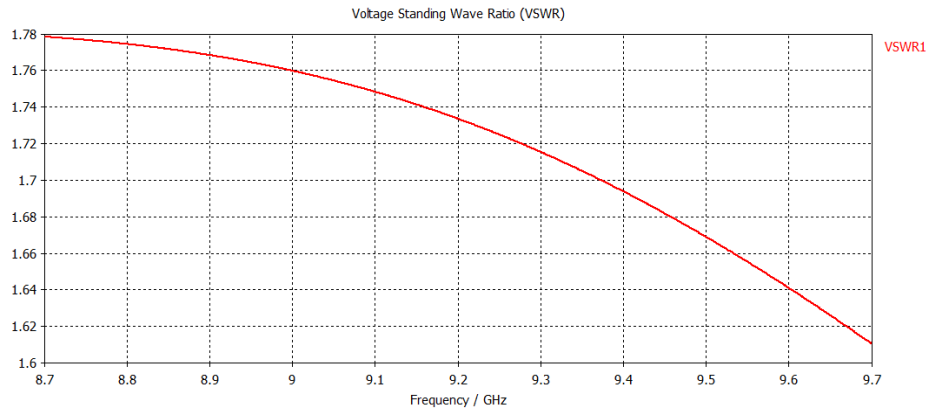


Рис.4. Зависимость КСВ от частоты.

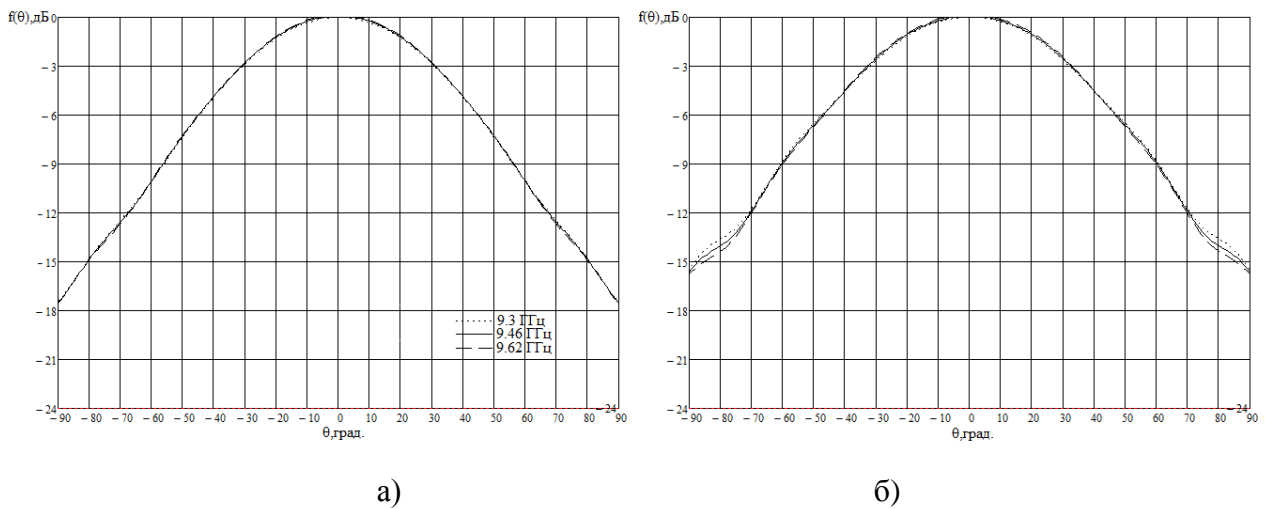
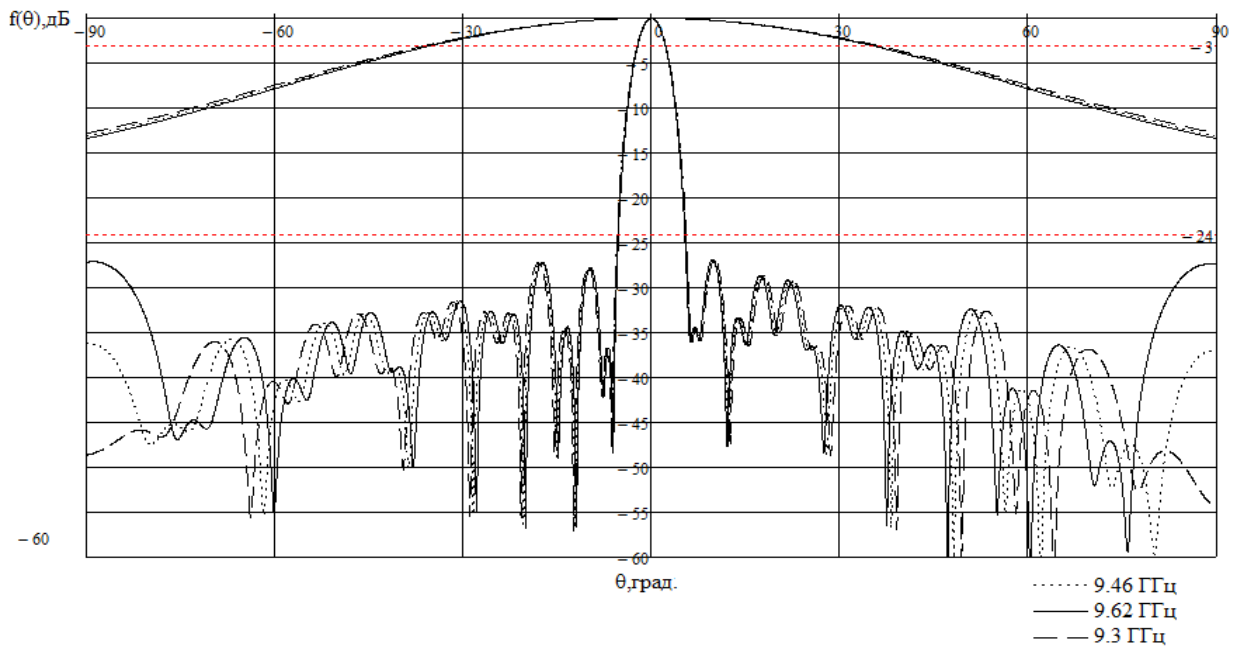
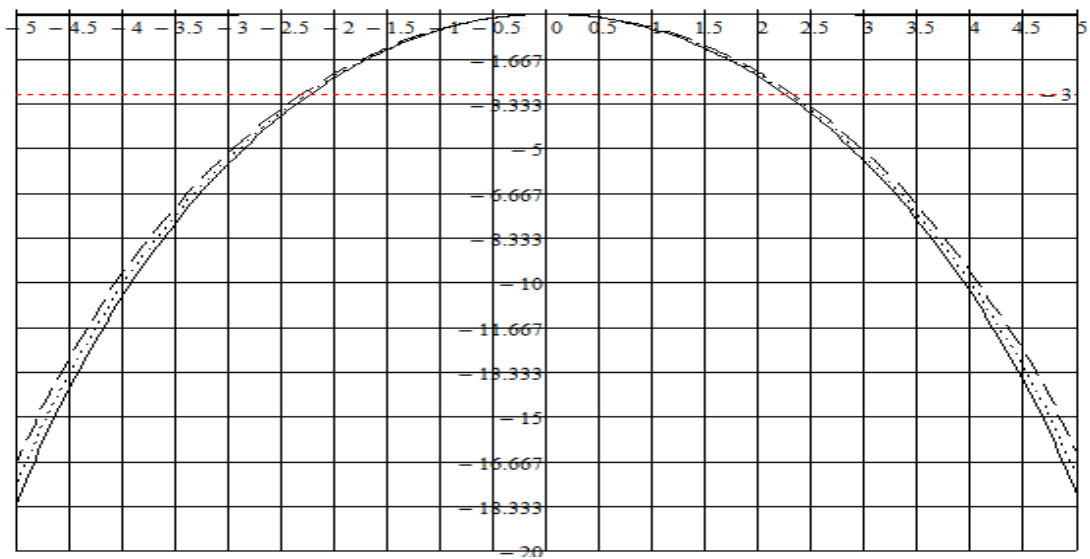


Рис.5. Парциальные диаграммы направленности рупорного излучателя: а – в горизонтальной плоскости (плоскость Н), б – в вертикальной плоскости (плоскость Е).

Расчёт характеристик направленности производится на ЭВМ по программе системного электродинамического моделирования рупорной антенной решётки, совмещённой с распределительной системой. На рис.6 а,б показана ДН антенной решётки и одиночного излучателя на трёх частотах диапазона в горизонтальной плоскости.



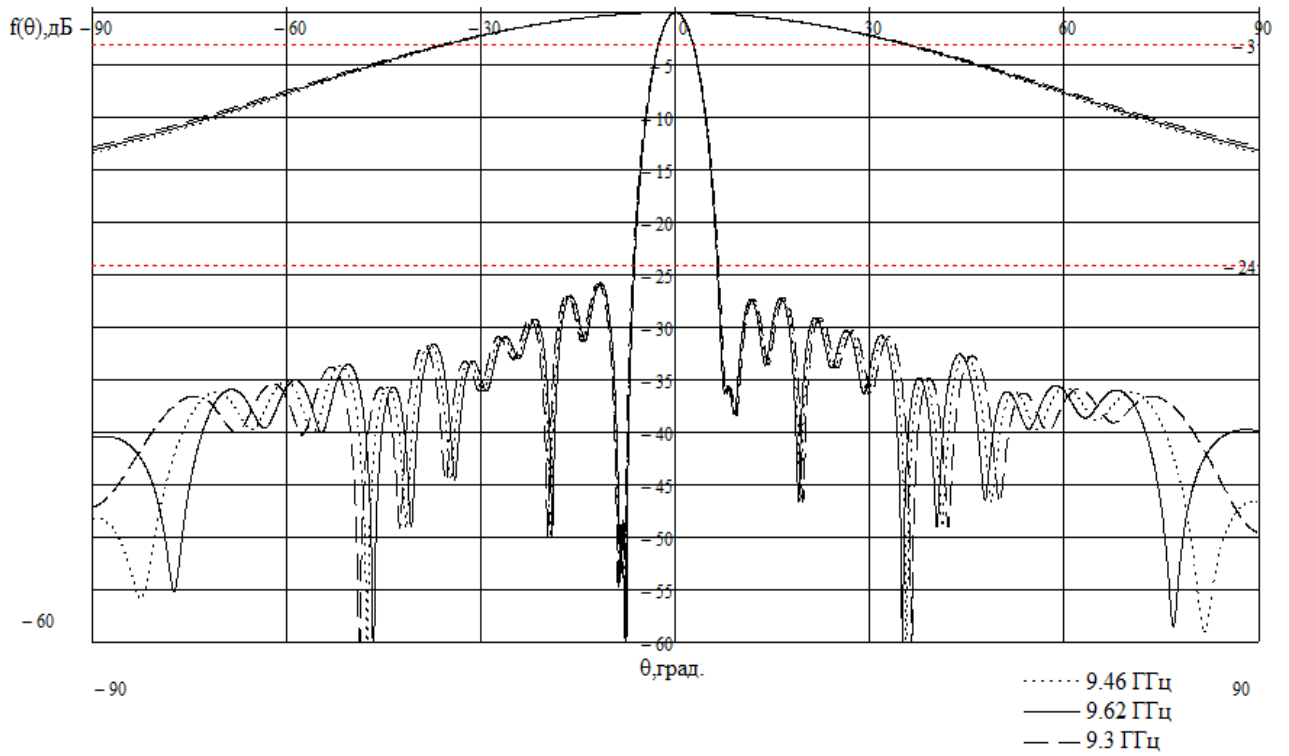
а)



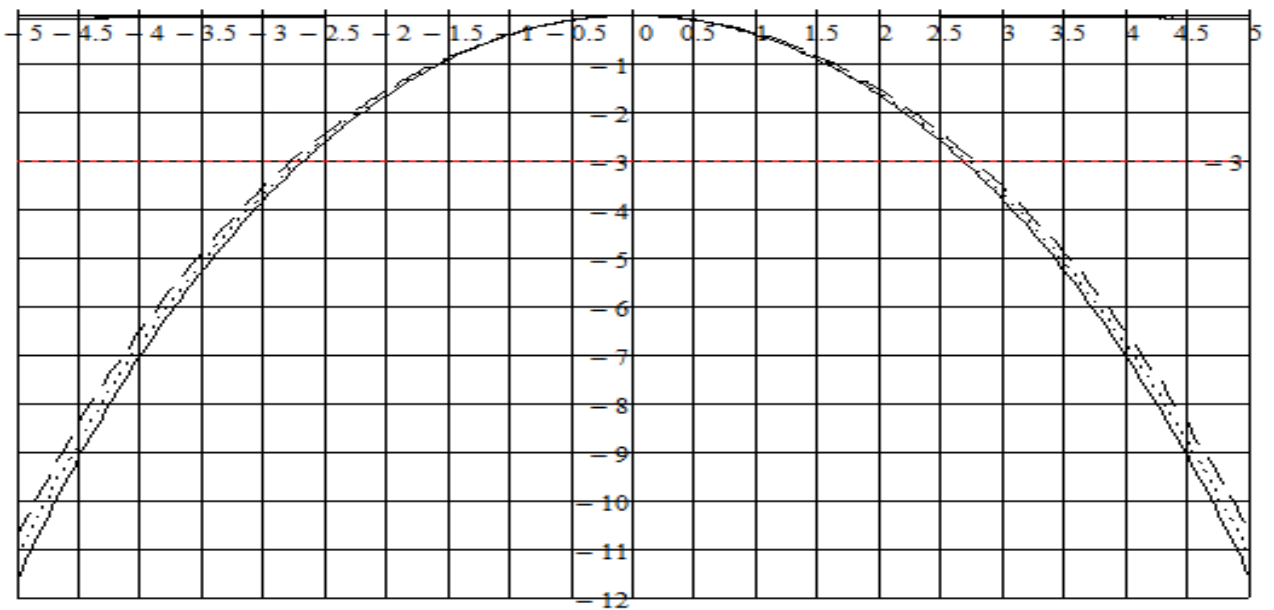
б)

Рис.6. а - ДН рупорной антенной решетки и излучателя в горизонтальной плоскости, б - основной лепесток ДН.

Результаты аналогичного расчета ДН плоской рупорной антенной решетки в вертикальной плоскости приведены на рис. 7а,б.



а)



б)

Рис. 7 а – ДН рупорной антенной решетке и излучателя в вертикальной плоскости, б – основной лепесток ДН.

Рабочий диапазон частот по потерям и электрическая прочность допускает построение делителей и питающих линий с использованием технологии гальванопластики.

Требуемый низкий УБЛ достигается неравномерным делением мощности в тройниках верхних этажей распределительной системы. Рупорная антенная решетка и волноводная распределительная система выполняются в виде монолитных конструкций, позволяющих минимизировать габаритно-весовые характеристики. Общий вид излучающего раскрыва с двух сторон, с выделенными элементами рупорной антенной решетки, формирующими разностную ДН показан на рис.7.

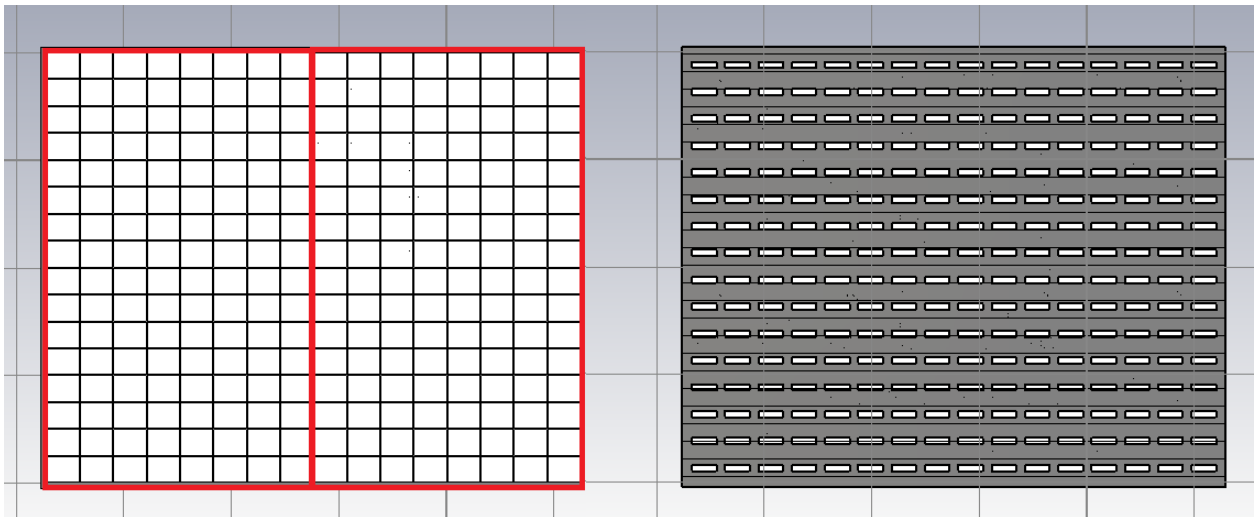


Рис.7. Общий вид раскрыва рупорной антенной решетки.

Общий вид распределительной системы показан на рис.8.

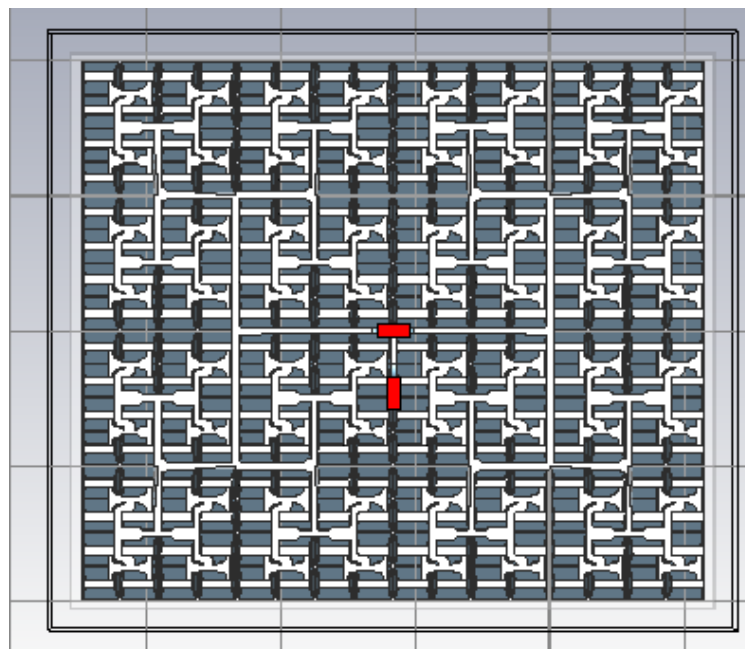


Рис.8. Общий вид распределительной системы.

Для формирования суммарной и разностной ДН на входе распределительной системы устанавливается волноводный Т-мост, который также целесообразно делать вместе с



распределительной системой в виде одной монолитной структуры. Выходы Т-моста представляют собой стандартные волноводы прямоугольного поперечного сечения с размерами  $23 \times 10$  мм. К входам волноводного Т-моста могут быть подключены направленные ответвители для подачи пилот-сигнала. В качестве направленных ответвителей могут применяться, например двухдырочные направленные ответвители.

Электродинамическая модель волноводного Т-моста показана на рис.9.

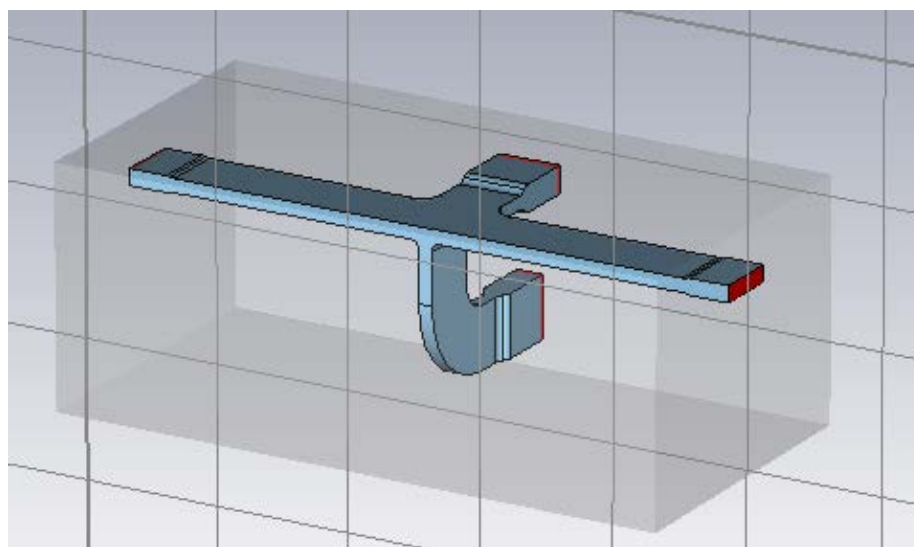
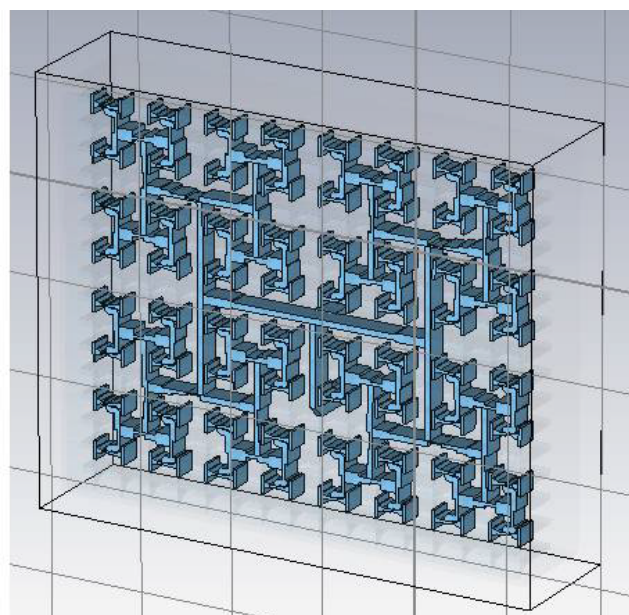
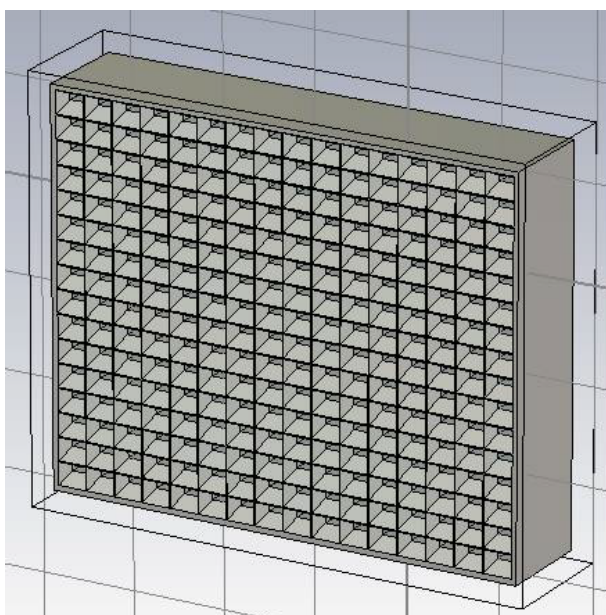


Рис.9.Электродинамическая модель волноводного Т-моста.

Электродинамическая модель всей решетки включает в себя излучающую (рис. 10.а), распределительную систему (рис.10.б) и Т-мост, который служит для формирования разностной ДН в горизонтальной плоскости. На рис.11 показана электродинамическая модель всей решетки с распределительной системой.



а)

б)

Рис.10. Электродинамическая модель: а - излучающей системы,  
б - распределительной системы

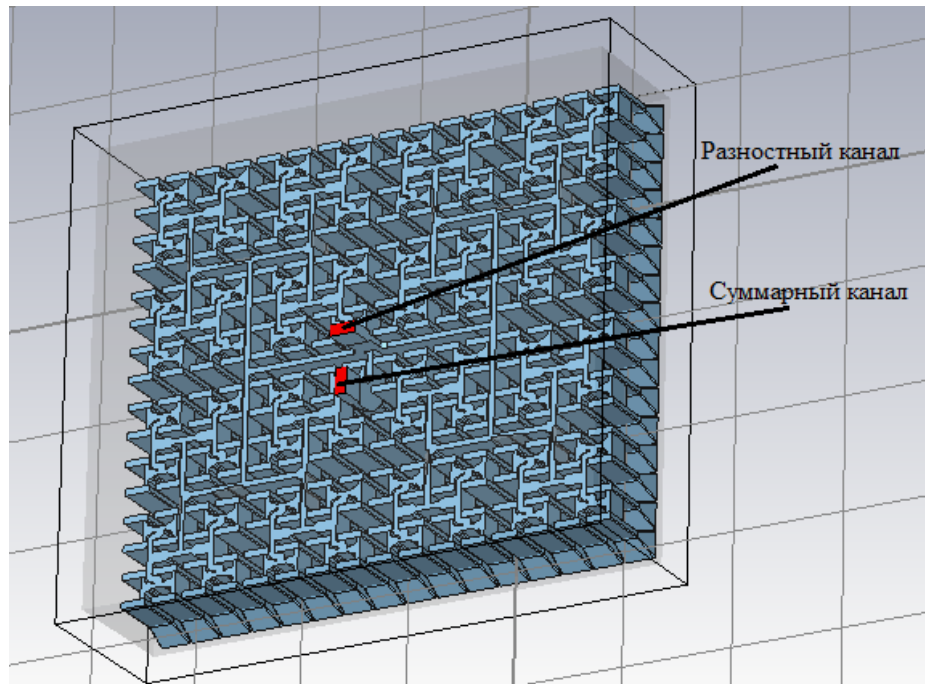


Рис.11. Электродинамическая модель рупорной антенной решетки с распределительной системой.

В целях минимизации габаритных размеров, а также глубины распределительной системы в ней применяется нестандартный волновод. Возбуждение тракта осуществляется волноводом стандартного поперечного сечения.

## Заключение

Таким образом, выбрана технология изготовления антенны, обеспечивающая минимальную глубину. Показана возможность получения требуемых характеристик направленности при использовании данной технологии. Разработана электродинамическая модель антенной решётки.

## Библиографический список

1. Б.Я. Казначей. Гальванопластика в промышленности. М.:ГИМП РСФСР, 1955.— 174 с.
2. Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева. Многофункциональная антенная решётка для бортовой РЛС. Труды 7-й международной молодёжной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011», Севастополь, апрель 11-15, 2011 г.

3. Е.В. Овчинникова. Активная фазированная антенная решётка с широкоугольным сканированием. Труды 18-й международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии », Севастополь, сентябрь 8-12, 2008 г.

КОНДРАТЬЕВА Светлана Геннадьевна, студент Московского авиационного института (национального исследовательского университета), тел.: +7(915)042-94-22;  
e-mail: evolventa89@gmail.com