

УДК 621.396.67

В.В. Головин, канд. техн. наук; М.И. Редин

*Севастопольский национальный технический университет, кафедра радиотехники
99053, г. Севастополь, Стрелецкая балка, Студгородок*

E-mail: rt.sevgtu@stel.sebastopol.ua

ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ГИБРИДНО-ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ СО СПИРАЛЬНЫМ ОБЛУЧАТЕЛЕМ

Проведен анализ распределения плотности тока на зеркале, создаваемого решеткой спиральных излучателей, и диаграмм направленности гибридно-зеркальной антенны. Представлены результаты экспериментального исследования.

Гибридно-зеркальные антенны широко используются в современных системах спутниковой связи (INTELSAT, EUTELSAT, TELECOM, KOPERNICUS и др.). Одна из наиболее сложных задач при проектировании ГЗА связана с построением ее облучающей системы. При этом чаще всего используются печатные или рупорные излучатели. В обоих случаях обеспечить требуемые характеристики излучения антенны удастся за счет создания многоэлементных антенных решеток и сложных громоздких диаграммообразующих схем (ДОС), включающих большое число фазовращателей, аттенуаторов, делителей мощности, устройств стабилизации рабочих характеристик управляющих элементов, которые компенсируют дестабилизирующие факторы окружающей среды. Вследствие этого ДОС вносят наибольшие потери во всей антенной системе, требуют разделения каналов приема и передачи, существенно ограничивают частотные свойства ГЗА и усложняют ее конструкцию. Поэтому актуальной является задача построения облучателя ГЗА с использованием минимального числа излучателей и элементов системы возбуждения.

Одно из решений указанной проблемы связано с построением облучающей решетки из спиральных излучателей. Это связано с тем, что спиральные антенны при малых поперечных и продольных размерах позволяют сформировать диаграмму направленности (ДН) с шириной главного лепестка по уровню минус 10 дБ от 40° до 150° и более. Они обеспечивают требуемую поляризационную структуру поля излучения, круговую или линейную.

Для получения возможно большего коэффициента использования поверхности (КИП) и снижения бокового излучения и реакции облучателя на переизлучение требуемая форма распределения плотности тока на зеркале должна характеризоваться большей равномерностью, спаданием амплитуды в направлении фокальной оси зеркала и на его краях.

Расчеты проводились для зеркальной антенны с геометрическими параметрами: фокусное расстояние параболического зеркала $F=0,64$ м, диаметр $D=1,08$ м; геометрия малого зеркала описывается $F=0,059$ м, $e=1,5$. Методика расчета основана на определении вблизи поверхности большого зеркала

ла магнитного поля, создаваемого решеткой спиралей, для которой заданы ее геометрические параметры и режим возбуждения излучателей. Поле вблизи зеркала имеет сложную структуру и характеризуется тремя составляющими плотности тока на зеркале, J_x , J_y , J_z . Далее на основании токового метода, в приближении Кирхгоффа, рассчитывается поле излучения ГЗА и определяется его поляризационная структура.

Расчеты плотности тока проводились в ортогональных плоскостях XOZ и YOZ , на частоте 11,36 ГГц для одного спирального излучателя (рисунок 1).

С использованием методики расчета характеристик поля излучения спиральных антенн [1] были определены геометрические параметры спирали, при которых ДН антенны имеет по уровню минус 10дБ ширину $90^\circ \geq 2\Delta\theta_{-10\text{дБ}} \geq 120^\circ$ и уровень бокового излучения не превышающий минус 10 дБ: радиус образующего цилиндра $a=0,006$ м, количество витков $n=2\dots 5$ и угол наклона витков спирали $\beta=12^\circ\dots 24^\circ$. При этом коэффици-

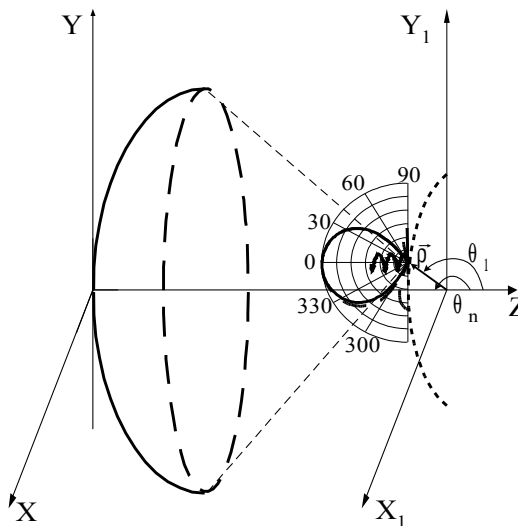


Рисунок 1 – Геометрия гибридно-зеркальной антенны

ент эллиптичности принимает значения не ниже 0,8.

Теоретические исследования распределения плотности тока на поверхности большого зеркала и поля в дальней зоне проводились в соответствии с [2] для спирали с параметрами $a=6$ мм; $n=3$, $\beta=16^\circ$, при $\theta_1=173^\circ$, $\theta_n=180^\circ$.

Составляющие плотности тока на зеркале можно представить в виде

$$J_x = -H_z \sin \frac{\Psi}{2} \sin \varphi_2 - H_y \cos \frac{\Psi}{2};$$

$$J_y = H_x \cos \frac{\Psi}{2} + H_z \sin \frac{\Psi}{2} \cos \varphi_2;$$

$$J_z = -H_y \sin \frac{\Psi}{2} \cos \varphi_2 + H_x \sin \frac{\Psi}{2} \sin \varphi_2,$$

где H_x, H_y, H_z – составляющие магнитного поля, которые определены в [2].

Для исследования ДН поля антенны в дальней зоне воспользуемся выражениями [2]:

$$E_\theta = A_x \cos \theta \cos \phi + A_y \cos \theta \sin \phi - A_z \sin \theta,$$

$$E_\phi = -A_x \sin \phi + A_y \cos \phi,$$

где коэффициенты A_x, A_y, A_z определяются из соотношений, указанных в [2].

На рисунке 3 изображены экспериментальные и теоретические ДН антенны со спиральным облучателем.

При созданном распределении тока антенна формирует ДН с несимметричным главным лепестком, максимум которого смещен от осевого направления на $0,5^\circ \dots 0,6^\circ$, а ширина составляет $3,5^\circ \dots 2,1^\circ$. Благодаря смещению спирали ($\theta_1 = 173^\circ$) снижается боковое излучение и с уменьшением угла наклона ее витков $\beta = 18^\circ \dots 14^\circ$ КНД зеркальной антенны принимает значения $35 \dots 38$ дБ. Однако в пределах главного лепестка ДН коэффициент эллиптичности убывает от 0,92 до 0,45.

На основании полученных данных был изготовлен спиральный облучатель и проведены экспериментальные исследования характеристик зеркальной антенны.

Исследования выполнялись методом вспомогательной вращающейся антенны линейной поляризации. Для уменьшения погрешности при измерении характеристик излучения антенн на наземном полигоне должны выполняться следующие условия:

- 1) расстояние между исследуемой и вспомогательной антеннами удовлетворяют условию дальней зоны;
- 2) взаимная, многократная связь между антеннами пренебрежимо мала;
- 3) волны, отраженные от земной поверхности и других объектов, не влияют на результаты измерений.

Согласно первому условию дальней зоны искажения ДН минимальны при

$$R_{\min} \geq D^2 / 2\lambda. \quad (1)$$

По условию (1) при длине волны $\lambda=0,029$ м и диаметре зеркальной антенны $D=1,08$ м получим значение $R_{\min} \geq 89$ м. Используемый для измерения полигон обеспечивает расстояния между исследуемой и вспомогательной антеннами $R=90$ м, что удовлетворяет условию дальней зоны во всем используемом диапазоне частот.

Измерения ДН проводились в двух ортогональных плоскостях. Анализ парциальных ДН показал, что облучателем позволяет сформировать поле излучения антенны с шириной главного лепестка $1,6^\circ \dots 2,8^\circ$, которое в диапазоне частот меняется в плоскости XOZ не более чем на $0,4^\circ$ и $0,8^\circ$ по E_θ и E_ϕ составляющей, соответственно, а в плоскости YOZ – на $0,4^\circ$ и $1,1^\circ$. С ростом частоты уровень бокового излучения возрастает от $-17 \dots -20$ дБ ($ka=1,416$, где k – волновое число) до $-15 \dots -19,5$ дБ ($ka=1,54$). Во всем диапазоне частот поляризация поля излучения изменяется мало и характеризуется коэффициентом эллиптичности $K_s=0,77 \dots 0,84$.

Коэффициент направленного действия зеркальной антенны на частоте 11,36 ГГц составляет 38 дБ и изменяется с уменьшением частоты до 36 дБ, с ростом частоты – до 35 дБ.

Анализ результатов экспериментального исследования (рисунок 3) показал: ширина главного лепестка парциальных ДН отличается от теоретических значений незначительно, уровень бокового излучения несколько возрос, причиной чего являются в некоторой степени погрешности при установке облучателя в вершине зеркала и юстировки исследуемой и вспомогательной антенн на полигоне. Значение коэффициента направленного действия отличается от теоретически полученного лишь на $2 \dots 3$ дБ, поля-

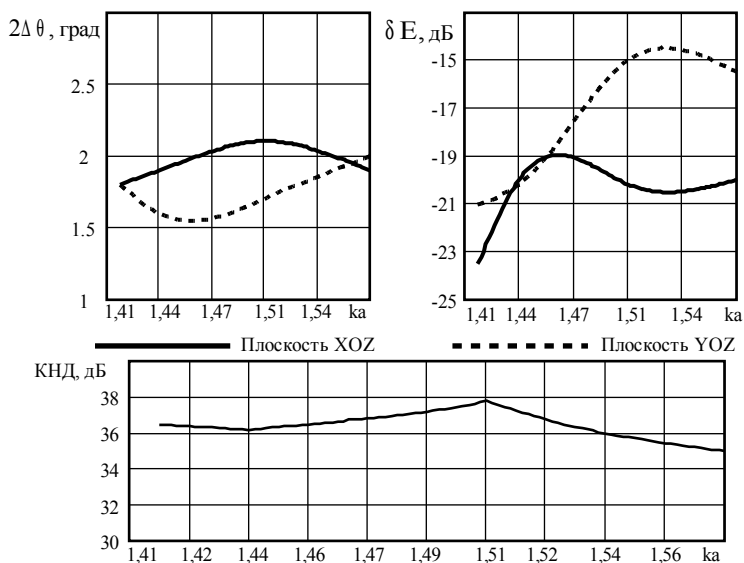


Рисунок 3 – Зависимости ширины диаграммы направленности, уровня боковых лепестков, КНД от частоты

ризация поля излучения – близкая к круговой. Полученные экспериментальные результаты представляет хорошую степень совпадения с данными теоретического анализа.

На основании проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Проведено экспериментальное исследование характеристик излучения спиральной антенны с параметрами $n=3$, $\beta=16^\circ$, $ka=1,42$.

2. Проведено исследование характеристик излучения зеркальной антенны. Зеркальная антенна формирует парциальные ДН с шириной $1,6^\circ \dots 2,8^\circ$; уровень бокового излучения полной ДН составляет $-21 \dots -23$ дБ; КНД $=35 \dots 38$ дБ; осевой $K_3=0,77 \dots 0,84$.

3. Результаты, полученные теоретическим путем, хорошо согласуются с данными проведенного экспериментального исследования, что подтверждает правильность выбранной математической модели построения ГЗА.

Библиографический список

1. Лобкова Л.М. Математическая модель поля излучения эллиптических спиральных антенн и оптимизация их параметров / Л.М. Лобкова, М.Б. Проценко, М.В. Ивашина // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. — 1999. — Т. 42. — № 9. — С. 37–43.

2. Лобкова Л.М. Метод анализа характеристик поля излучения однозеркальной гибридно-зеркальной антенны / Л.М. Лобкова, В.В. Головин, Ю.Н. Тыщук // Вест. СевГТУ. Сер. Информатика, электроника, связь: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2003. — Вып. 47. — С. 88–94.

3. Лобкова Л.М. Метод построения облучающей системы однозеркальной гибридно-зеркальной антенны / Л.М. Лобкова, В.В. Головин, М.А. Боромекова // Вест. СевГТУ. Сер. Информатика, электроника, связь: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2003. — Вып. 47. — С. 95–102.

Поступила в редакцию 20.01.2004 г.