

УДК 621.396.677

С.Н. Власик¹, А.А. Лоскутов²¹Харківський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Торгово-промисловий коледж, Харків

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛУЧАТЕЛЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Обоснована конструкція і проведено розрахунок просторових характеристик облучателя сверхширокополосной зеркальной антенны в виде конической спирали. Отмечается, что антенна предназначена для излучения поля с круговой поляризацией и имеет коэффициент перекрытия 30. Отмечаются достоинства конической спирали, определены конструктивные размеры элементов антенной системы.

Ключевые слова: коническая спиральная антенна, диаграмма направленности по мощности

Введение

Анализ литературы. При исследовании антенных систем сверхширокополосных (СШП) РТС для постановки заградительных помех радиолиниям управления взрывными устройствами (РУВУ) отдельное внимание уделяется крупноапертурным зеркальным антеннам с круговой поляризацией излученного поля [1]. Рассмотренные в [2, 3] системные требования к СШП РТС блокирования РУВУ дают возможность провести численные расчеты характеристик передающей антенно-фидерной системы. Поэтому **целью данной статьи** является предварительный качественный и количественный анализ характеристик зеркальных СШП антенн с круговой поляризацией.

Основная часть

Для получения круговой поляризации излученного поля СШП РТС предлагается использовать зеркальную антенну с облучателем в виде спиральной антенны. Диапазон частот, который необходимо перекрыть помехой для блокирования РУВУ составляет 100 МГц – 3 ГГц [3], поэтому выберем коническую спираль, которая обладает лучшими диапазоновыми свойствами, чем круглая цилиндрическая спиральная антенна [4].

При работе на передачу спиральная антенна излучает поле с вращающейся поляризацией, правого или лево-поляризованной, в зависимости от направления намотки спирали. При работе на прием она принимает поле либо вращающейся поляризации с направлением вращения как и при передаче, либо поле любой линейной поляризации. Такой принцип работы спиральной антенны позволяет уменьшить реакцию зеркала на облучатель. Эффект применения спирального облучателя для уменьшения на него реакции зеркала основан на свойстве спирали принимать и излучать поле только с одним направлением вращения поляризации, определяемым геометрией спирали. При отражении от проводящей поверх-

ности зеркала направление вращения поляризации поля меняется на противоположное, которое облучателем не может быть принято.

Нахождение параметров конической спиральной антенны начинают с расчета по заданной ширине диаграммы направленности (ДН) или по заданному коэффициенту направленного действия (КНД) цилиндрической спирали, который производят на средней частоте заданного для конической спирали диапазона [5].

В силу описанных выше условий, определим, что средняя длина волны спектра сигнала составляет $\lambda_{cp}=1,5$ м. Длину витка спирали примем равной средней длине волны диапазона $L=\lambda_{cp}=1,5$ м. Шаг спирали S находится из условия [5]:

$$S=0,22 \lambda_{cp}=0,3 \text{ м.}$$

Анализ литературы показывает, что количество витков спирали должно быть больше 3. При этом ширина ДН составляет величину $30^{\circ} - 40^{\circ}$. Выберем количество витков $n=10$. Тогда ширина ДН, определяемая как [6]:

$$2\Theta_{0,5P}^0 = 52^{\circ} / \left(\frac{L}{\lambda} \sqrt{\frac{nS}{\lambda}} \right), \quad (1)$$

будет иметь величину 37° , а КНД, определяемый как [6]:

$$D = 15 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^2 n \frac{S}{\lambda}, \quad (2)$$

будет иметь величину $D=30$.

Общая длина антенны будет [5]:

$$l = D\lambda_{cp}/15 = 3 \text{ (м)}.$$

Зная длину витка и шаг спирали далее определяется угол намотки α :

$$\alpha = \arcsin S/L = 11,5^{\circ}.$$

Угол при вершине конуса определяется как [5]:

$$2 \sin \beta = 2 \arcsin \left(\ln \frac{L_n}{L_1} / (2\pi t g \alpha (n-1)) \right) = 34^{\circ},$$

где $L_1 = \lambda_{мин} = 0,1$ м; $L_n = \lambda_{макс} = 3$ м.

Начальный радиус спирали может быть найден из выражения:

$$R_{\min} = \frac{0,75\lambda_{\min} \operatorname{tg}\alpha \sin\beta}{\exp(2\pi\operatorname{tg}\alpha \sin\beta) - 1}.$$

Для рассматриваемого случая $R_{\min}=0,01$ м.

Конечный радиус спирали определяется из выражения [5]:

$$R_{\max} = R_{\min} \exp(2\pi\operatorname{tg}\alpha \sin\beta).$$

Для рассматриваемого случая $R_{\max}=0,43$ м, т.е. диаметр основания составляет 0,86 м. Анализ литературы показывает [6], что диаметр рефлектора можно выбрать $D_{\text{реф}}=0,375\lambda_{\max}=1,12$ м. В этом случае уровень обратного излучения не более 15 дБ, а коэффициент эллиптичности в направлении оси не меньше 0,5. Поле сохраняет поляризацию, близкую к круговой, в пределах широкого кругового сектора по обе оси антенны (до 70°). Учитывая, что спираль будет крепиться на сплошном каркасе из текстолита, диэлектрическая проницаемость которого составляет $\varepsilon_d=7$, то все линейные размеры антенны должны быть уменьшены в $\sqrt{\varepsilon_d} = 2,6$ раза. Окончательно получаем $D_{\text{реф}}=0,43$ м, $R_{\max}=0,16$ м, $R_{\min}=0,005$ м, $l=1,15$ м.

После того, как определены все характерные размеры конической спиральной антенны, можно рассчитать ее ДН по полю для средней частоты [5]:

$$F(\Theta) = \cos\Theta \frac{\sin \left[\frac{\pi S n}{\lambda} \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda S}{1,22L^2}} - \cos\Theta \right) \right]}{n \sin \left[\frac{\pi S}{\lambda} \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda S}{1,22L^2}} - \cos\Theta \right) \right]}. \quad (3)$$

На рис. 1. представлена ДН по мощности для рассматриваемой конической спиральной антенны. Ширина ДН – 37° и совпадает с расчетной.

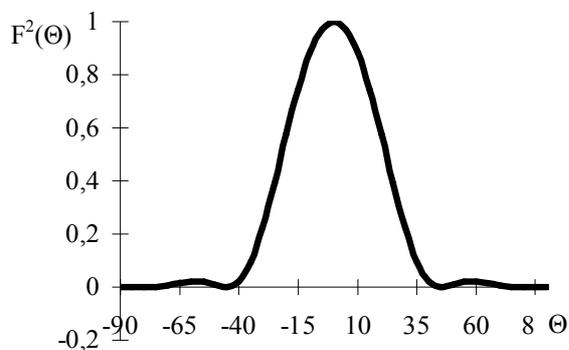


Рис. 2. Нормированная ДН по мощности для конической спиральной антенны

Полученные выше соотношения и расчетные значения для облучателя позволяют провести точный электродинамический расчет пространственно-временных или пространственно-частотных характеристик зеркальной антенны при возбуждении ее СШП сигналом с шириной спектра 100 МГц – 3 ГГц. Отметим также, что фазовый центр у спиральной антенны, строго говоря, отсутствует [4]. Условный фазовый центр для телесного угла, включающего главный лепесток и ближайшие к нему боковые лепестки, находится приблизительно вблизи геометрического центра спирали.

Выше было показано, что ширина спектра СШП сигнала, необходимая для блокирования РУВУ, составляет $\Delta f = 0,1 \div 3$ ГГц, а спектральная плотность напряженности электрического поля помехи, необходимая для подавления приемника, должна быть на 40 дБ больше, чем напряженность поля, формируемого полезным сигналом. С учетом данных [3] зададимся спектральной плотностью помехи на уровне $E_{\text{пом}}(f) = 1 \div 3$ В/(м·Гц). Такой порядок величин обеспечивает определенный запас, особенно в области высоких частот, применение которых террористом обеспечивает лучшую скрытность его действий и соответственно больший коэффициент защиты.

Кроме этого в [3] был также определен диаметр зеркальной антенны в виде параболоида вращения – $d=1,5$ м. Уменьшение габаритных размеров рефлектора стало возможным благодаря текстолитовому каркасу, на который предполагается наматывать спиральную антенну общей длиной 1,15 м. Отметим, что для уменьшения эффекта затенения, коническая спиральная антенна может быть смещена в фокальной плоскости зеркальной антенны.

Еще одним параметром параболоида вращения является фокусное расстояние F , т.к. уравнение параболы имеет вид: $x^2 = 4Fz$. Фокусное расстояние определяет положение облучателя, точнее его фазового центра по отношению к рефлектору. Облучатель является важнейшим элементом зеркальной антенны, в значительной степени определяющим ее параметры. К облучателям, используемым в параболоиде вращения, предъявляются следующие основные требования [4]:

- фронт волны, излучаемой облучателем, должен быть близким к сферическому по крайней мере в пределах угла раскрытия, т.е. облучатель должен иметь фазовый или условный фазовый центр;
- ДН облучателя должна быть близкой к осесимметричной и иметь определенную ширину, согласованную с углом раскрытия зеркала; уровень боковых лепестков должен быть минимальным;
- поле, излучаемое облучателем должно иметь определенную поляризацию;
- облучатель должен иметь небольшие размеры, чтобы возможно меньше затенять раскрыв зеркала;

– облучатель должен быть хорошо согласован с фидером в заданном диапазоне частот.

Облучатель, находящийся в поле волны, отраженной от зеркала, влияет на уровень бокового излучения и КНД антенной системы. Рефлектор, в свою очередь также влияет на работу облучателя. Это влияние проявляется в том, что облучатель принимает часть энергии, отраженной от зеркала. Поэтому, если до помещения в зеркало облучатель был согласован с фидером, то при наличии зеркала в фидере возникнет отраженная волна, т.е. произойдет рассогласование облучателя с фидером. Степень рассогласования можно охарактеризовать коэффициентом отражения [4]:

$$\dot{\Gamma} = \frac{\lambda D_{\text{макс}}}{4\pi F} \exp(-j\delta), \quad (4)$$

где δ – фаза коэффициента отражения, $D_{\text{макс}}$ – КНД облучателя.

Необходимо отметить, что при увеличении фокусного расстояния, как это следует из (4), влияние фокусного расстояния на облучатель не уменьшается. Как правило, обычно задается апертура антенны. При неизменной апертуре увеличение F приводит к необходимости использования облучателя с более узкой ДН. Однако при сужении ДН облучателя КУ его растет примерно как F^2 . Поэтому при заданной апертуре рефлектора с увеличением F влияние зеркала на облучатель усиливается.

Обзор литературы показывает, что в качестве СШП облучателя короткоимпульсной зеркальной антенны можно выбрать биконическую антенну, ТЕМ-рупор или спиральную антенну. Как отмечалось выше, учитывая тот факт, что к антенне предъявляется требование излучения поля с круговой поляризацией, в качестве облучателя зеркальной антенны была выбрана коническая спиральная антенна с диапазоном перекрытия 30, расчет геометрических и пространственных характеристик которой проведен выше. Фокусное расстояние рефлектора выберем $F=1$ м.

Таким образом, расчетная конструкция имеет вид, представленный на рис. 2.

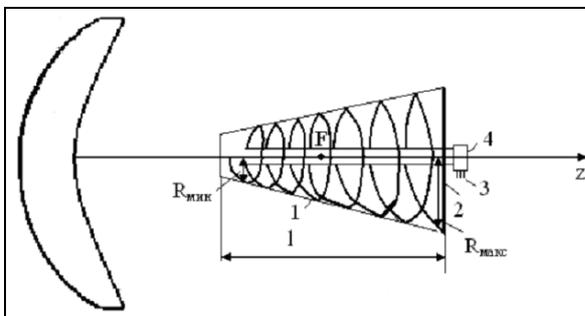


Рис. 2. Расчетная схема короткоимпульсной зеркальной антенны: (1 – проволочная спираль; 2 – сетчатый экран; 3 – питающий фидер; 4 – согласующее устройство)

В пользу выбора последнего говорят также два обстоятельства:

1) коническая спиральная антенна имеет условный фазовый центр в широком частотном диапазоне, расположенный в ее геометрическом центре;

2) входное сопротивление конических спиральных антенн является чисто активным и практически не меняется в широком диапазоне частот; его величина зависит от угла при вершине конуса, диаметра вершины и диаметра кабеля [6].

Так как волновое сопротивление фидера обычно равно 50 или 75 Ом, а входное сопротивление спирали составляет 100...160 Ом, то для согласования антенны с фидером применяют широкополосные согласующие устройства, расчет которых приводится в [6]. Диапазонность конической спиральной антенны существенно повышается при подведении к ней питания со стороны вершины спирали, второй конец спирали электрически соединяется с экраном (рис. 2).

Выводы

Обоснована конструкция и проведен расчет пространственных характеристик облучателя сверхширокополосной зеркальной антенны в виде конической спирали: ширина ДН составляет 37° , КНД $D=30$. С учетом того, что спираль будет крепиться на сплошном каркасе из текстолита, диэлектрическая проницаемость которого составляет $\epsilon_d=7$, все линейные размеры антенны должны быть уменьшены в 2,6 раза: $D_{\text{реф}}=0,43$ м, $R_{\text{макс}}=0,16$ м, $R_{\text{мин}}=0,005$ м, $l=1,15$ м.

Список литературы

1. Кравченко В.И. Электромагнитное оружие / В.И. Кравченко. – Х.: Изд-во НТУ «ХПИ», 2008. – 185 с.
2. Власик С.Н. Оценка возможностей применения сверхширокополосных сигналов для блокирования радиоуправляемых взрывных устройств // Системы управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НУ. – 2009. – СУНЗ 3(11). – С. 41-44.
3. Ермаков Г.В. Оценка энергетических и пространственных характеристик сверхширокополосной РТС для постановки заградительных помех / Г.В. Ермаков, С.Н. Власик // Системы обробки інформації. – 2009. – Вип. 6(80). – С. 43-48.
4. Шифрин Антенны: учеб. пособ. – Х.: ВИРТА им. Говорова, 1976. – 407 с.
5. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов / под ред. Д.И. Воскресенского – М.: Сов. радио, 1972. – 320 с.
6. Антенно-фидерные устройства / А.Л. Дробкин и др. – М.: Сов. радио, 1974. – 536 с.

Поступила в редколлегию 13.11.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Ермаков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

**ПРОСТОРОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПРОМІНЮВАЧА НАДШИРОКОСМУГОВОЇ ДЗЕРКАЛЬНОЇ АНТЕНИ
З КОЛОВОЮ ПОЛЯРИЗАЦІЄЮ**

С.М. Власік, А.А. Лоскутов

Обґрунтовано конструкцію та проведено розрахунок просторових характеристик опромінювача надширококугової дзеркальної антени у вигляді конічної спіралі. Відмічається, що антена призначена для випромінювання поля з круговою поляризацією та має коефіцієнт перекриття 30. Відмічені переваги конічної спіралі, визначені конструктивні розміри елементів антенної системи.

Ключові слова: конічна спіральна антена, діаграма спрямованості за потужністю.

**SPATIAL CHARACTERISTICS OF THE ULTRAWIDEBAND MIRROR ANTENNA IRRADIATOR
WITH CIRCULAR POLARIZATION**

S.N. Vlasik, A.A. Loskutov

A construction is grounded and the calculation of spatial descriptions ultrawideband mirror antenna irradiator as a conical spiral is conducted. It is marked that antenna is intended for the radiation of the field with circular polarization and has a ceiling coefficient 30. Dignities of conical spiral are marked, the structural sizes of antenna system elements are certain.

Keywords: conical spiral aerial, pattern on power.