

УДК 621.396.677

М.Г. Иванец, Г.В. Ермаков, В.В. Воинов, С.Н. Власик

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ С УЧЕТОМ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ОБЛУЧАТЕЛЯ И РЕФЛЕКТОРА

Представлена методика определения диаграммы направленности сверхширокополосной зеркальной антенны с учетом взаимного влияния облучателя и рефлектора, основанная на методе расчета плотности поверхностного тока для незамкнутых поверхностей с помощью интегральных представлений.

**Ключевые слова:** сверхширокополосный сигнал, интегральные представления, диаграмма направленности.

### Введение

Проведение натурных экспериментов по определению характеристик направленности СШП антенных систем требует наличия соответствующего радиолокационного полигона и дорогостоящего измерительного оборудования. В то же время использование уменьшенных моделей излучающих систем не всегда позволяет получить адекватные результаты. Поэтому расчетные методы определения характеристик направленности во многих случаях имеют первоочередное значение [1, 2].

**Цель.** Разработать методику определения диаграммы направленности (ДН) сверхширокополосной зеркальной антенны с учетом взаимного влияния облучателя и рефлектора.

**Постановка задачи.** Рассматривается случай возбуждения зеркальной антенны с помощью облучателя в виде системы ТЕМ-рупоров, расположенных в фокусе и ортогонально относительно друг друга, гауссовым видеопульсом тока единичной амплитуды и длительностью  $\tau_{и}=0,5$  нс (пространственная длительность СШП сигнала  $\sigma_{и}=15$  см; взаимное влияние рупоров не учитывается; диаметр антенны – 3 м, фокусное расстояние – 1 м).

Учитывая тот факт, что размеры короткоимпульсной зеркальной антенны являются большими в сравнении с рабочими длинами волн ( $\lambda=0,6\div 0,15$  м при диаметре  $d=3$  м), для расчета плотности поверхностного тока и в последующем ее пространственных характеристик целесообразно использовать метод уточнения приближения физической оптики [3].

Форма импульса тока, возбуждающего облучатель, представлена на рис. 1 и описывается зависимостью:

$$I(t) = A \exp\left(-t/(2\tau_{\xi})\right)^2. \quad (1)$$

Спектр сигнала, нормированный к максимальному значению, представлен на рис. 2 и описывается зависимостью:

$$I(\omega) = \sqrt{2\pi}\lambda\tau_{\xi} \exp\left(-\omega^2\tau_{\xi}^2/2\right), \quad (2)$$

где  $A=1$  – амплитуда импульса;  $t$  – время, отсчитываемое от момента возбуждения;  $\tau_{и}$  – длительность

импульса, определяемая по уровню 0,5;  $\omega$  – круговая частота.

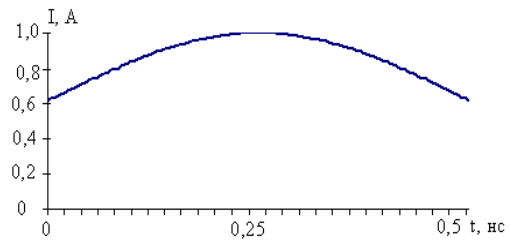


Рис. 1. Форма импульса тока, возбуждающего систему ТЕМ-рупоров

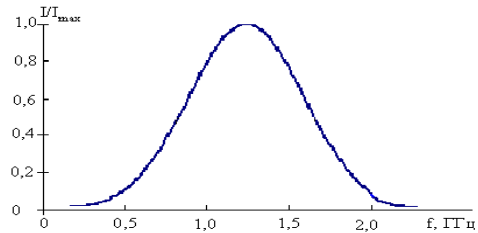


Рис. 2. Нормированный амплитудно-частотный спектр

При разработке методики определения ДН СШП зеркальной антенны с учетом взаимного влияния облучателя предлагается использовать итерационную процедуру определения напряженности электрического поля [4]. Основные расчетные обозначения представлены на рис. 3.

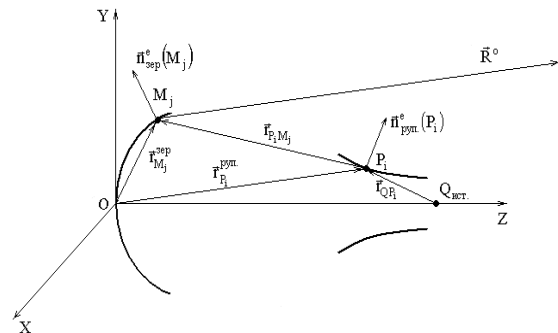


Рис. 3. Расчетные обозначения

На рис. 3 даны такие расчетные обозначения:  $Q_{ист}$  – точка расположения источника;  $P_i$  – точка

на поверхності ТЕМ-рупора;  $\vec{n}_{\text{руп}}^e(P_i)$  – внешняя нормаль к поверхности ТЕМ-рупора в точке  $P_i$ ;  $\vec{r}_{QP_i}$  – расстояние от источника до точки  $P_i$  на поверхности ТЕМ-рупора;  $M_j$  – точка на поверхности зеркала;  $\vec{n}_{\text{зер}}^e(M_j)$  – внешняя нормаль к поверхности зеркала в точке  $M_j$ ;  $\vec{r}_{M_j}^{\text{зер}}$  – расстояние от точки  $M_j$  на поверхности зеркала до центра антенны;  $\vec{r}_{P_i}^{\text{руп}}$  – расстояние от центра антенны до точки  $P_i$  на поверхности ТЕМ-рупора;  $\vec{r}_{P_i M_j}$  – расстояние от точки  $P_i$  на поверхности ТЕМ-рупора до точки  $M_j$  на поверхности зеркала.

Суть методики состоит в следующем.

I итерация.

1. Определение плотности поверхностного тока на ТЕМ-рупоре  $\vec{J}_{\text{руп}}^{(1)}(P_i, \omega)$  с помощью метода уточнения приближения физической оптики:

$$\vec{J}_{\text{руп}}^{(1)}(P_i, \omega) = \vec{J}_S^{+(1)}(P_i, \omega) - \vec{J}_S^{-(1)}(P_i, \omega), \quad (3)$$

где  $\vec{J}_S^{+(1)}, \vec{J}_S^{-(1)}$  – плотность поверхностного тока на внутренней и внешней сторонах ТЕМ-рупора, определяемые из интегрального представления:

$$\frac{1}{2}(\vec{J}_S^{+(1)}(P_i, \omega) + \vec{J}_S^{-(1)}(P_i, \omega)) = \vec{J}_S^0(P_i, \omega) - \frac{1}{2\pi} \int_S \vec{n}_{\text{руп}}^e(P_i) \times \left[ (\vec{J}_S^{+(1)}(P, \omega) - \vec{J}_S^{-(1)}(P, \omega)) \times \text{grad}_P \frac{\exp(-jk(\omega)r_{PP_i})}{r_{PP_i}} \right] dS, \quad (4)$$

где  $\vec{J}_S^0(P_i, \omega) = 2\vec{n}_{\text{руп}}^e(P_i) \times \vec{H}_{\text{ист}}^0(P_i, \omega)$  – плотность поверхностного тока на освещенной стороне в приближении физической оптики;  $\vec{H}_{\text{ист}}^0(P_i, \omega)$  – поле источника;  $P_i, P$  – точка наблюдения и интегрирования соответственно;  $S$  – поверхность интегрирования, представляющая собой всю площадь ТЕМ-рупора;

$$r_{PP_i} = \sqrt{(x_P - x_{P_i})^2 + (y_P - y_{P_i})^2 + (z_P - z_{P_i})^2};$$

$k(\omega) = \omega / c$  – волновое число, соответствующее спектральной составляющей СШП сигнала на частоте  $\omega$ .

2. Определение магнитной составляющей поля, излученного ТЕМ-рупором, у зеркала (представление Стреттона-Чу):

$$\vec{H}_{\text{чад}}^{(1)}(\hat{I}_j, \omega) = \vec{H}_{\text{енд}}^0(\hat{I}_j, \omega) + \frac{1}{4\pi} \times \int_{S_{\text{дот}}} \left\{ \text{grad}_{P_i} \frac{\exp[-jk(\omega)r_{P_i M_j}]}{r_{P_i M_j}} \times \vec{J}_{\text{дот}}^{(1)}(P_i, \omega) \right\} dS_{\text{дот}}. \quad (5)$$

3. Определение плотности поверхностного тока на рефлекторе в физоптическом приближении:

$$\vec{J}_{\text{зер}}^{(1)}(M_j, \omega) = 2\vec{n}_{\text{зер}}^e(M_j) \times \vec{H}_{\text{зер}}^{(1)}(M_j, \omega), \quad (6)$$

4. Расчет напряженности электрического поля, излучаемого рефлектором, в дальней зоне:

$$\vec{p} \dot{E}^{(1)}(\omega, \vec{R}^0) = -j\Omega \left[ k(\omega) \vec{r}_{M_j}^{\text{зер}} \right] k(\omega)^2 \times \int_{S_{\text{зер}}} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \vec{p}^0 \exp[-jk(\omega)(\vec{R}^0 \vec{r}_{M_j}^{\text{зер}})] \vec{J}_{\text{зер}}^{(1)}(M_j, \omega) dS_{\text{зер}} \times \quad (7)$$

где  $\vec{p}^0$  – единичный вектор, характеризующий поляризацию передающей антенны;

$$\Omega \left[ k(\omega) \vec{r}_{M_j}^{\text{зер}} \right] = \frac{1}{4\pi} \frac{\exp[jk(\omega) \vec{r}_{M_j}^{\text{зер}}]}{k(\omega) \vec{r}_{M_j}^{\text{зер}}};$$

$\mu_0, \epsilon_0$  – электрическая и магнитная проницаемости свободного пространства;  $\vec{R}^0$  – единичный вектор направления на точку наблюдения;  $\vec{p}^0$  – единичный вектор, характеризующий поляризацию отраженной от зеркала волны.

II итерация.

4. Определение магнитной составляющей поля, переизлученного рефлектором, у облучателя (представление Стреттона-Чу):

$$\vec{H}_{\text{руп}}^{(2)}(P_i, \omega) = \vec{H}_{\text{ист}}^0(P_i, \omega) + \frac{1}{4\pi} \times \int_{S_{\text{зер}}} \left\{ \text{grad}_{M_j} \frac{\exp[-jk(\omega)r_{P_i M_j}]}{r_{P_i M_j}} \times \vec{J}_{\text{зер}}^{(1)}(M_j, \omega) \right\} \times dS_{\text{зер}}, \quad (8)$$

5. Определение плотности поверхностного тока на ТЕМ-рупоре:

$$\vec{J}_{\text{руп}}^{(2)}(P_i, \omega) = \vec{J}_S^{+(2)}(P_i, \omega) - \vec{J}_S^{-(2)}(P_i, \omega), \quad (9)$$

где

$$\frac{1}{2}(\vec{J}_S^{+(2)}(P_i, \omega) + \vec{J}_S^{-(2)}(P_i, \omega)) = \vec{J}_S^{0(1)}(P_i, \omega) - \frac{1}{2\pi} \int_S \vec{n}_{\text{руп}}^e(P_i) \times \left[ (\vec{J}_S^{+(2)}(P, \omega) - \vec{J}_S^{-(2)}(P, \omega)) \times \text{grad}_P \frac{\exp(-jk(\omega)r_{PP_i})}{r_{PP_i}} \right] dS. \quad (10)$$

$\vec{J}_S^{0(1)}(P_i, \omega) = \vec{J}_S^0(P_i, \omega) + 2\vec{n}_{\text{руп}}^e(P_i) \times \vec{H}_{\text{руп}}^{(2)}(P_i, \omega)$  – плотность поверхностного тока с учетом поля источника и поля, отраженного от рефлектора.

6. Повторение шагов (2) – (4).

$$7. \sum_{\omega} \left| \dot{E}^{(n)}(\omega, \vec{R}^0) - \dot{E}^{(n-1)}(\omega, \vec{R}^0) \right|^2 \leq 0,01, \quad (11)$$

где  $n$  – номер итерации.

Последний шаг итерации предназначен для интегрального сравнения полей в дальней зоне. Отметим что, определению подлежат интегральные характеристики поля – пиковая ДН и КНД, поэтому указанную точность будем полагать достаточной.

Для использования предложенной методики определения ДН короткоимпульсной зеркальной антенны с учетом влияния облучателя был исполь-

званий метод расчета плотности поверхностного тока для криволинейных незамкнутых экранов.

На рис. 4 – 7 представлены ДН зеркальной антенны с учетом направленных характеристик облучателя для спектральных составляющих СШП сигнала, соответствующие частотам: 500 МГц, 1 ГГц, 1,5 ГГц, 2 ГГц. На всех рисунках введены следующие обозначения: кривая 1 соответствует полю, формируемому центральной частью зеркала; кривая 2 – поле, формируемое кромкой; 3 – суммарное поле от центральной части и от кромки.

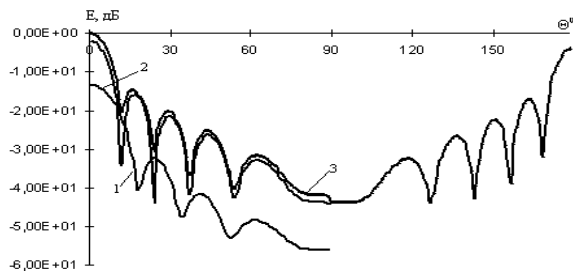


Рис. 4. ДН зеркальной КИА на частоте 500 МГц

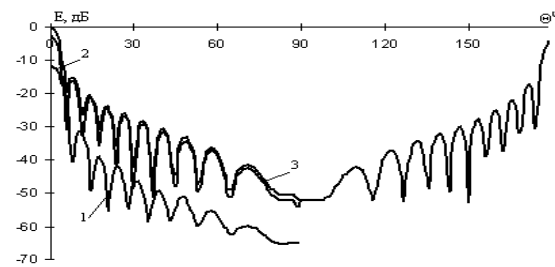


Рис. 5. ДН зеркальной КИА на частоте 1 ГГц

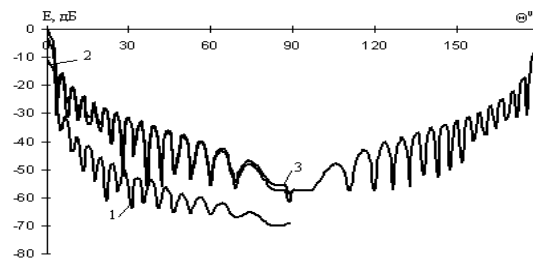


Рис. 6. ДН зеркальной КИА на частоте 1,5 ГГц

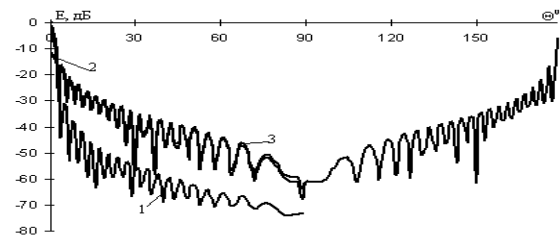


Рис. 7. ДН зеркальной КИА на частоте 2 ГГц

### Выводы

Описанная выше методика позволяет рассчитать ДН зеркальной антенны с учетом взаимного влияния облучателя и рефлектора для различных спектральных составляющих СШП сигнала, оценить энергетические характеристики антенной системы и определить с помощью Фурье-преобразования пространственно-временную структуру излучаемого СШП сигнала. Из графиков, представленных на рисунках, следует, что значительный вклад в формирование бокового и заднего лепестков диаграммы направленности дает кромка, в направлении главного максимума – центральная часть рефлектора.

### Список литературы

1. Казарин А.Н. Методы расчета и измерения характеристик и параметров антенн / А.Н. Казарин, И.Т. Кравченко, Ключников А.С.. – Минск: Изд-во БГУ, 1971. – 142 с.
2. Мицмакер М.Ю. Безэховые камеры СВЧ / М.Ю. Мицмакер, В.А. Торгованов. – М.: Радио и связь, 1982. – 128 с.
3. Вычислительные методы в электродинамике; под ред. Р. Миттры. – М.: Мир, 1977. – 485 с.
4. Ермаков Г.В. Электродинамический метод расчета пространственно-временных характеристик СШП антенных решеток с учетом взаимного влияния элементов / Г.В. Ермаков, О.Л. Смирнов, Д.М. Литовченко, М.Г. Иванец // Системи обробки інформації. – 2007. – №1(57). – С. 36-39.

Поступила в редколлегию 24.01.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.И. Обод, Национальный технический университет "ХПИ", Харьков.

### МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНОСТІ НАДШИРОКОСМУГОВОЇ ДЗЕРКАЛЬНОЇ АНТЕНИ З УРАХУВАННЯМ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ ОПРОМІНЮВАЧА І РЕФЛЕКТОРА

М.Г. Иванец, Г.В. Ермаков, В.В. Воинов, С.М. Власик

Представлена методика визначення діаграми спрямованості надширокопasmової дзеркальної антени з урахуванням взаємного впливу опромінювача і рефлектора, заснована на методі розрахунку густини поверхневого струму для незамкнених поверхонь за допомогою інтегральних уявлень

**Ключові слова:** надширокопasmовий сигнал, інтегральні уявлення, діаграма спрямованості.

### METHOD OF ULTRAWIDEBAND REFLECTOR ANTENNA TAKING INTO ACCOUNT CROSS-COUPLING OF IRRADIATOR AND REFLECTOR PATTERN DETERMINATION

M.G. Ivanets, G.V. Yermakov, V.V. Voinov, S.M. Vlasik

The method of ultrawideband reflector antenna is presented taking into account the cross-coupling of irradiator and reflector pattern determination, based on the method of surface current density calculation for thumbs-under surfaces by integral presentations

**Keywords:** ultrawideband signal, integral presentations, directional diagram.