

для принятого в эксперименте сокращения дальней зоны  $m = 20$  дает с достаточной точностью значения коэффициента рассеяния в заданном телесном угле.

Как следует из (5), отношение  $\int_{\Omega_6} |f_{д}|^2 d\Omega / \int_{\Omega_6} |f_6|^2 d\Omega$ , где  $\Omega_6$  — телесный угол, занимаемый диском, расположенным в ближней зоне, должно совпадать с отношением  $\Delta T_{а-д}^{сф} (1 + \xi)^{нсф} / \Delta T_{а-д}^{нсф} (1 + \xi)^{сф}$ , что и выполнялось в эксперименте с точностью 5%. (Отношение  $(1 + \xi)^{нсф} / (1 + \xi)^{сф}$  близко к  $1 \pm 2\%$ , отношение  $\Delta T_{а-д}^{сф} / \Delta T_{а-д}^{нсф}$  измерено с точностью 8%.)

Отметим, что для надежного измерения радиометром значения приращения  $\Delta T_{а-д}^{нсф}$  необходимо применять диски достаточно больших размеров, а при сокращениях  $m < 10$  ближнее поле антенны плавно спадает по радиусу диска [4]. Тогда для определения дифракционных поправок  $(1 + \xi)^{нсф}$  можно приближенно использовать данные работы [5].

Авторы признательны Н. М. Цейтлину и В. И. Турчину за обсуждение результатов и полезные советы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. М. Цейтлин, Применение методов радиоастрономии в антенной технике, изд. Сов. радио, М., 1966
2. В. И. Турчин, Н. М. Цейтлин, А. К. Чандаев, Радиотехника и электроника, 18, № 4 (1973).
3. Л. Н. Захарьев, А. А. Леманский, Рассеяние волн «черными» телами, изд. Сов. радио, М., 1972.
4. R. C. Rudduck and C. L. J. Chen, Trans. on Ant. and Prop., AP-24, № 4 (1977).
5. В. В. Аникина, Д. А. Дмитренко, Л. К. Иванникова, Радиотехника и электроника, 18, № 3 (1973).

Научно-исследовательский  
радиофизический институт

Поступила в редакцию  
3 августа 1978 г.

УДК 538.311

### ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ В ИЗЛУЧАТЕЛЕ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВОЛНОВОЙ ЗОНЕ

*В. С. Коротков, В. И. Турчин*

Зачастую для практических целей представляет интерес информация о пространственном распределении источников излучения с характерным периодом осцилляций порядка длины волны и более, которые и определяют структуру поля в волновой зоне. В связи с этим иногда достаточно ограничиться приближенным решением задачи об экспериментальном определении по волновому полю распределения источников. В зависимости от точности восстановления амплитудно-фазового распределения (АФР) источников по экспериментальным данным о ближнем поле можно либо определять неисправные элементы фазированной антенной решетки (ФАР), либо учитывать возмущения, вносимые отдельными элементами конструкции антенны в теоретически полученное АФР, либо оценивать деформации зеркала антенны и т. д. Ниже приводится способ построения приближенного (сглаженного) решения рассматриваемой обратной задачи, оценки его точности, а также результаты экспериментального определения амплитуды и фаз токов в элементах линейной решетки по данным измерениям ее ближнего поля с использованием метода, изложенного в данной работе.

Для определения амплитудно-фазового распределения (АФР) тока (рис. 1) на произвольной поверхности по измеренной тангенциальной компоненте электрического поля  $E_1^*$  на произвольной поверхности сканирования  $S_{ск}$  рассмотрим вспомогательную задачу. Зададим на поверхности, совпадающей с поверхностью сканирования, сторонний ток  $J_2$ , возбуждающий в свободном пространстве поле  $E_2$ . Записывая для двух

\* Измерение тангенциальной компоненты электрического поля  $E_1$  можно провести путем сканирования небольшой слабо направленной антенны по методике, применяемой при фазометрических (голографических) исследованиях параметров [2, 3].

пар полей и сторонних токов лемму Лоренца, получаем интегральное уравнение (1) для тока  $J_1$  с ядром  $E_2$ :

$$\int_{S_{ск}} (E_1 J_2) dS = \int_{S_a} (E_2 J_1) dS. \quad (1)$$

Выберем ток  $J_2$  так, чтобы функция  $E_2$  имела бы резко выраженный максимум в некоторой точке  $x_a^{(0)}$ , в этом случае  $E_2$  можно было бы приближенно рассматривать как  $\delta$ -функцию. Выбор  $J_2$  может быть произведен из очевидных геометрических соображений: лучи, характеризующие поле  $E_2$ , должны все сходиться в точку  $x_a^{(0)}$  (см. рис. 1). Ток  $J_2$  для этого должен быть задан в виде

$$J_2 = J(x_{ск}, x_a^{(0)}) e^{-ikf}, \quad (2)$$

где  $f = |x_{ск} - x_a^{(0)}|$ ,  $J$  — плавно меняющаяся амплитуда тока. Подставим в правую часть (1) выражение для поля  $E_2$ , представленное в виде интеграла от распределения тока  $J_2$  по поверхности  $S_{ск}$ . Полученный четырехкратный интеграл можно вычислить

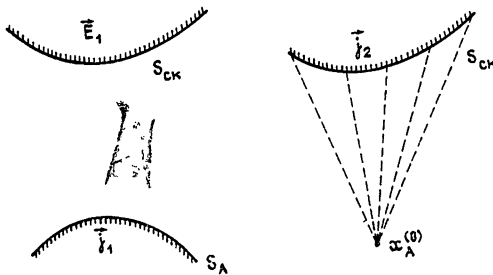


Рис. 1.

с помощью метода стационарной фазы. В результате находим соотношение (3), которое позволяет приближенно вычислять значение любой компоненты  $e$  тока  $J_1$  на произвольной поверхности по измерениям электрического поля на произвольной поверхности сканирования, расположенной в волновой зоне:

$$(J_1 e) = i4\pi\omega\epsilon \int_{S_{ск}} E_1 [n_{ск} [r_0 [n_a e]]] \frac{e^{-ikf}}{f} dS_{ск} + O(1/kf), \quad (3)$$

где  $r_0$  — единичный вектор, направленный из элемента поверхности в точку наблюдения,  $n_{ск}$ ,  $n_a$  — нормали к поверхностям сканирования и антенны. Для проверки полученного соотношения (3) проводилось математическое моделирование на ЭВМ. Моделью для восстановления АФР токов служила одномерная линейная эквидистантная решетка вибраторов. Результаты моделирования показали, что восстановленное АФР позволяет с большой уверенностью определять неисправные элементы (погрешность, связанная с осциллирующим характером восстановленного АФР, составила  $\pm 8\%$ ).

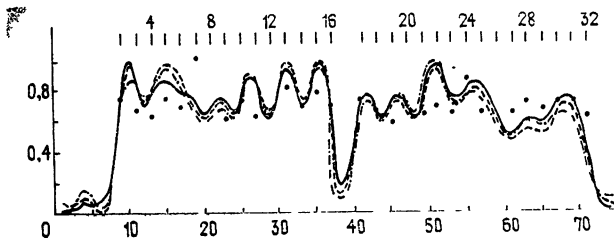


Рис. 2. Амплитудные распределения тока по раскрытию ФАР, восстановленные по трем реализациям электрического поля линейной решетки в ближней зоне. Кружочками отмечены результаты непосредственного измерения амплитуды и фазы токов в вибраторах,

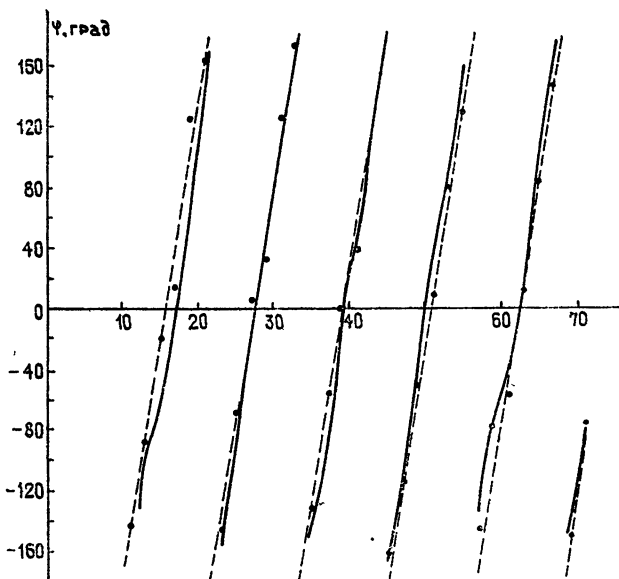


Рис. 3. Фазовое распределение тока, соответствующее амплитудному, показанному на рис. 2. Пунктирная линия показывает предполагаемое фазовое распределение (линейное).

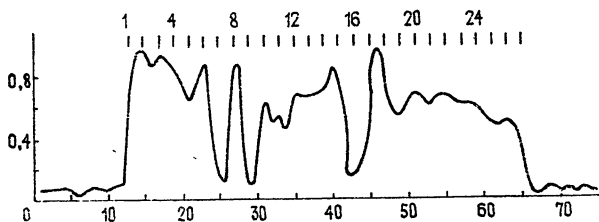


Рис. 4. Восстановленное амплитудное распределение тока по раскрытию ФАР с отключенными 7-м, 9-м и 16-м элементами.

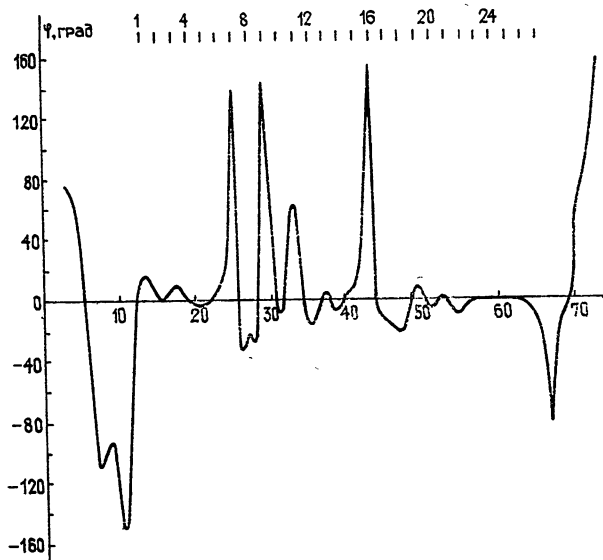


Рис. 5. Восстановленное фазовое распределение, соответствующее амплитудному распределению, показанному на рис. 4.

Кроме этого, были выполнены экспериментальные измерения электрического поля линейной ФАР и последующее восстановление на ЭВМ значений токов в вибраторах. Результаты эксперимента представлены на рис. 2—5. Восстановленное АФР токов, отмеченное на графиках сплошной линией, сравнивалось с АФР, полученным непосредственным измерением токов в вибраторах, которые нанесены на рис. 2 и 3 точками. Как видно из рис. 2 и 3, имело место удовлетворительное совпадение результатов, полученных обоими способами. На рис. 4 и 5 показано восстановленное АФР для ФАР с отключенными 7-м, 9-м и 16-м элементами. Провалы в амплитудном и фазовом распределениях позволяют с большой уверенностью определить неисправные элементы.

В заключение авторы выражают благодарность М. А. Миллеру и Н. М. Цейтлину за обсуждение результатов данной работы и ряд полезных советов, А. Л. Фогелю, В. А. Антонову, И. М. Фортусу за помощь в проведении эксперимента, Н. В. Векслер и Л. Р. Семенову за помощь при обработке данных на ЭВМ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Тихонов, В. А. Арсенин, Методы решения некорректных задач, изд. Наука, М., 1974.
2. Л. Д. Бахрах, А. П. Курочкин, ДАН СССР, 171, 16 (1966).
3. В. И. Турчин, Н. М. Цейтлин, ДАН СССР, 205, № 4, 820 (1972).
4. В. Ю. Петрунькин, Труды ЛПИ, серия Радиофизика, 181, 73 (1955).
5. В. И. Турчин, Изв. вузов — Радиофизика, 20, № 7, 1071 (1977).
6. В. И. Турчин, В. А. Фарфель, А. Л. Фогель, Радиотехника и электроника, 21, № 1, 72 (1976).
7. Вычислительные методы в электродинамике, под ред. Р. Митры, перевод с англ. под ред. Э. Л. Бурштейна, М., изд. Мир, 1977.

Научно-исследовательский  
радиофизический институт

Поступила в редакцию  
20 июля 1978 г.