

И. А. ВОДОВАТОВ, М. Г. ВЫСОЦКИЙ,
В. Ю. ПЕТРУНЬКИН
(Ленинград)

**ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК
СО СЛУЧАЙНЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ**

За последнее время оптические методы получают все большее распространение в антенных измерениях. Эти методы используются, в частности, при исследовании характеристик антенн, таких как диаграммы направленности, пространственно-частотные характеристики и т. д. [1].

Оптические методы могут быть применены для исследования фазированных антенных решеток со случайным размещением излучающих элементов (СФАР). Решетки такого типа служат для создания систем с узкими диаграммами направленности при уменьшении общего числа излучателей. Существующие методы теоретического анализа СФАР позволяют сравнительно просто находить лишь вероятностные характеристики. Что касается конкретных реализаций решеток, то определение их характеристик сопряжено со значительными затратами машинного времени.

Весьма перспективным методом исследования двумерных диаграмм направленности СФАР является, на наш взгляд, оптическое моделирование. Ниже изложена методика экспериментов по оптическому моделированию решеток со случайным размещением элементов и приведены некоторые результаты таких экспериментов. Дано также сравнение результатов оптического моделирования с данными расчетов.

Описание методики эксперимента. Оптическое моделирование диаграмм направленности СФАР осуществлялось по традиционной схеме [1]. Оптическая модель антенной решетки освещалась когерентным пучком света с плоским фазовым фронтом и равномерным амплитудным распределением, получаемым от лазера с помощью телескопической системы линз. В фокальной плоскости интегрирующей линзы формировалось распределение света, соответствующее диаграмме направленности решетки, которое наблюдалось с помощью регистрирующего устройства. В качестве регистрирующего устройства использовались фотоэлектронный умножитель с самописцем. В случае неравномерного распределения амплитуды или фазы

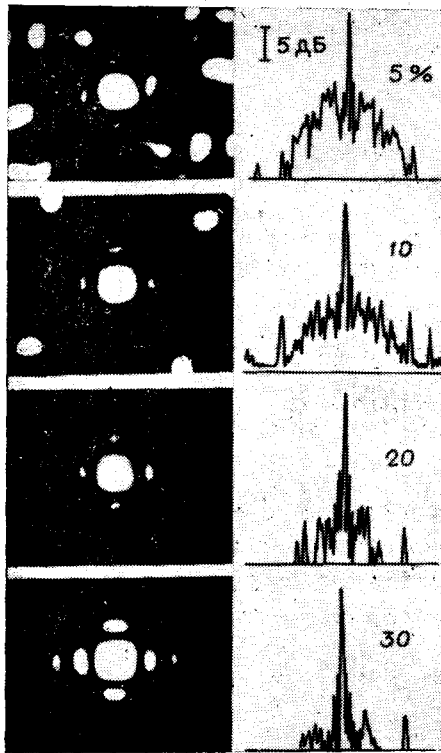


Рис. 1.

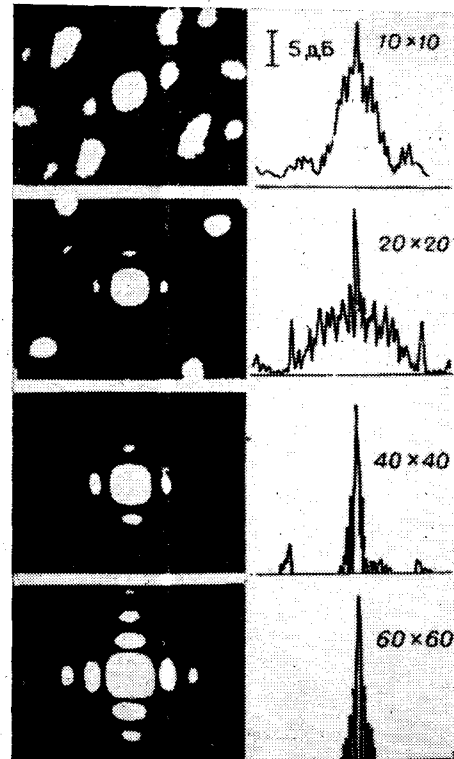


Рис. 2.

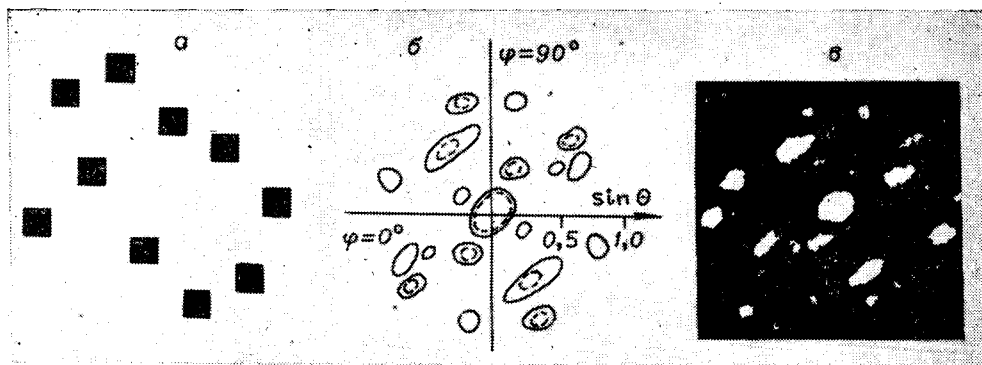


Рис. 3.

электромагнитного поля на антенне схема оптического моделирования должна быть дополнена амплитудным и фазовым фильтрами, которые создают в плоскости модели антенной решетки соответствующие распределения амплитуды и фазы светового поля. Фазовые фильтры выполняются в виде дифракционных решеток с переменным шагом, при этом наблюдение распределения света на выходе системы проводится в одном из первых порядков дифракции [2].

Результаты эксперимента. Оптическое моделирование осуществлялось на установке, собранной в соответствии с описанной выше схемой. Применялись оптические и механические элементы от приборов СИН-1 и ОСК-2. Источником когерентного оптического излучения служил лазер типа ЛГ-38 с длиной волны 0,63 мкм. Модели решеток изготавливались фотографическим и фотолитографическим способами. Модель одной из реализаций антенной решетки приведена на рис. 3, а.

Были исследованы диаграммы направленности реализации решеток, отличающихся размерами и процентным содержанием оставленных элементов. На рис. 1 и 2 представлены результаты эксперимента в виде фотографий дифракционных распределений, соответствующих двумерным диаграммам направленности решеток, и фотометрические прописи центральных сечений. На рис. 1 приведены данные для решеток с размерами 20×20 элементов, из которых используются 5, 10, 20 и 30% от общего числа излучателей. Легко видеть, что уменьшение процентного содержания оставленных элементов приводит к росту уровня боковых лепестков. Влияние размера решетки на ее характеристики при постоянном процентном заполнении можно проследить по фотографиям и прописям рис. 2, соответствующим диаграммам направленности реализации с заполнением 10% и размерами 10×10 , 20×20 , 40×40 и 60×60 элементов. Как следует из рис. 2, возрастание размеров антенной решетки существенно улучшает ее характеристики: если решетка 10×10 с 10%-ным содержанием излучателей еще мало пригодна для работы, то диаграммы направленности решеток 40×40 и 60×60 элементов с тем же заполнением в области главного лепестка практически не отличаются от диаграмм направленности целиком заполненных решеток.

Сравнение с расчетами. С целью оценки эффективности оптического моделирования диаграмма направленности конкретной реализации СФАР рассчитывалась на ЭВМ аналогично [3]. Для расчета была выбрана реализация плоской решетки размером 10×10 с 10%-ным заполнением (рис. 3, а). На рис. 3, б приведена картографическая проекция диаграммы направленности по уровням $-7,5$ дБ (штриховые кривые) и -10 дБ (сплошные кривые). Для сравнения с результатами оптического моделирования (рис. 3, в), которое является немасштабным [4], построение выполнено в координатах $\sin \theta$, φ (θ — угол места, φ — азимут). Легко видеть хорошее совпадение расчетных данных с экспериментальными.

Статистический расчет уровня боковых лепестков проводился в соответствии с работой [5]. В таблице приведены результаты расчетов среднего уровня боковых ле-

$N \times N$	10×10	20×20	40×40	60×60	20×20	20×20	20×20	20×20
M , %	10	10	10	10	5	10	20	30
$-z_p^2$, дБ	11	16,5	22,5	26	13,2	16,6	20	22,4
$-z_3^2$, дБ	11	15,5	23	24	13	15,5	19	21

пестков z_p^2 для решеток различного размера ($N \times N$) и различного заполнения (M). Здесь же дан средний уровень боковых лепестков z_p^2 , подсчитанный из фотометрических прописей горизонтальных сечений диаграмм направленности, полученных экспериментально. Из приведенных данных видно хорошее совпадение расчетных

1. Есепкина Н. А. и др. Использование методов когерентной оптики и голографии для исследования характеристик радиотелескопов.— Изв. высш. учебн. заведений. Сер. Радиофизика, 1976, т. 19, вып. 11.
2. Васильев Б. А. и др. Использование методов оптического моделирования для исследования зеркальных несинфазных антенн.— Автометрия, 1977, № 2.
3. Базелян Л. Л., Инютин Г. А., Содин Л. Г. Опыт разработки двумерных антенных решеток со случайным размещением элементов. Ч. II.— В кн.: Антенны. № 15. М.: Связь, 1972.
4. Бахрах Л. Д., Курочкин А. П. Голография в микроволновой технике.— М.: Сов. радио, 1979.
5. Содин Л. Г. Теория двумерных антенных решеток со случайным размещением излучателей. Ч. I.— В кн.: Антенны. № 15. М.: Связь, 1972.

Поступило в редакцию 2 апреля 1980 г.

УДК 621.396 : 677.001.57 : 621.383

И. А. ВОДОВАТОВ, М. Г. ВЫСОЦКИЙ, А. П. ЛАВРОВ,
С. А. РОГОВ
(Ленинград)

ОПТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ПЭС-ФОТОПРИЕМНИКОВ

Введение. Оптическое моделирование является одним из перспективных способов исследования характеристик антенных устройств [1, 2]. С помощью оптического моделирования можно достаточно просто получить наглядное качественное представление о двумерной диаграмме направленности (ДН) антенны. Для получения количественных характеристик диаграммы направленности необходимо осуществлять фотометрирование распределения светового поля, соответствующего диаграмме направленности. Это может быть выполнено с помощью фотоэлектронного умножителя, перемещающегося вдоль светового распределения и связанного с самописцем. Однако если ДН имеет сложный вид, то для получения полного представления о ней нужно произвести фотометрирование во многих сечениях, что представляет собой длительный, трудоемкий процесс, и, кроме того, за время эксперимента могут меняться мощность когерентного источника, параметры радиоэлектронных приборов и т. д. Задача значительно упрощается, если в качестве системы регистрации взять многоэлементный фотоприемник, выполненный на основе прибора с зарядовой связью (ПЭС).

В настоящей работе на примере оптического моделирования ДН антенны радиотелескопа РАТАН-600 показана возможность применения ПЭС-структур для указанной цели.

Описание экспериментальной установки. Для эксперимента использовалась традиционная схема оптического моделирования антенн [2], включавшая в себя лазер ЛГ-38 (длина волны излучения 0,63 мкм), коллиматор, оптическую модель антенны, интегрирующий объектив и регистрирующее устройство. Оптическая модель антенны РАТАН-600 состояла из апертуры, изготовленной фотолитографическим способом, на которую накладывалась специальная дифракционная решетка, имитировавшая фазовое распределение поля на апертуре антенны. Положение штрихов в решетке соответствовало распределению фазы поля на апертуре. В фокальной плоскости интегрирующего объектива формировалось световое пятно с распределением амплитуды, подобным распределению поля в дальней зоне антенны. После увеличения с помощью дополнительной линзы пятно проецировалось на светочувствительные элементы ПЭС-фотоприемника.

Фотоприемник представлял собой аналоговый четырехфазный регистр сдвига с прозрачными для света полевыми электродами, благодаря чему регистр использо-