ДК 621.378

С. В. ТЮРИН, канд. тех. наук., М. М. БЫКОВ, канд. тех. наук, А. В. ГЛИНЯНЫЙ, В. А. РОМАНЮК

ФОРМИРОВАНИЕ МНОЖЕСТВА ОПОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ АДАПТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МНОГОПУЧКОВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Как известно, эффективная компенсация влияния атмосферы на изображение какого-либо объекта наблюдается лишь в пределах изопланатического угла $\theta_{из}$, зависящего от радиуса когерентности атмосферы r_0 и высоты эффективного турбулентного слоя над землёй h_0 (рис. 1). Угол изопланатизма в видимом диапазоне составляет величину порядка 4...15 секунд в зависимости от местности, времени суток, погодных условий. Используя один опорный источник (ОИ) в изопланатической области с помощью адаптивной системы можно получить неискаженное (скорректированное) изображение точечного объекта. При наблюдении протяженного объекта, угловые размеры которого превыщают величину изопланатического угла, с помощью одного опорного источника компенсировать влияние атмосферы в плоскости изображения не удаётся. Улучшение качества изображения в его центральной части, соответствующей одной изопланатической области, приводит к его ухудшению на периферии (рис. 1). В связи с этим возникает актуальная задача создания нескольких опорных источников по числу зон изопланатизма, укладывающихся в плоскости протяженного объекта. Количество опорных источников зависит от диаметра входной апертуры оптического средства D, высоты опорного источника над плоскостью оптической системы z_0, радиуса когерентности атмосферы r_0, высоты эффективного турбулентного слоя над землёй h_0 и определяется выражением [1]:

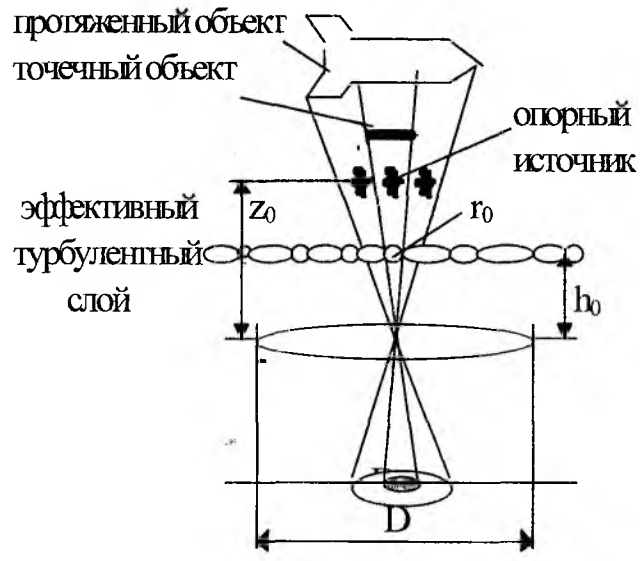

Рис. 1

$$N_{ои} = 2{,}25\frac{D^2 h_o^2}{z_o^2 r_o^2} \qquad (1)$$

Зависимость количества необходимых опорных источников от высоты над плоскостью апертуры при $h_0 = 10$ км, $r_0 = 0{,}1$ м, $D = 0{,}5$ м представлена на рис. 2.

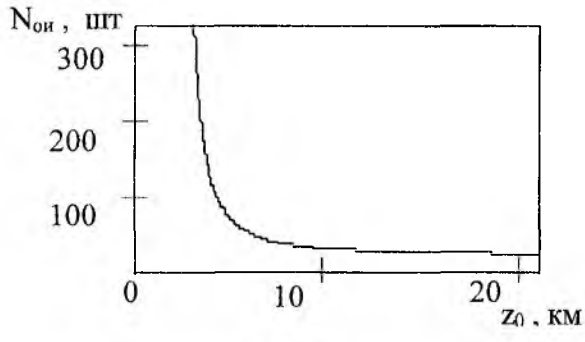

Рис. 2

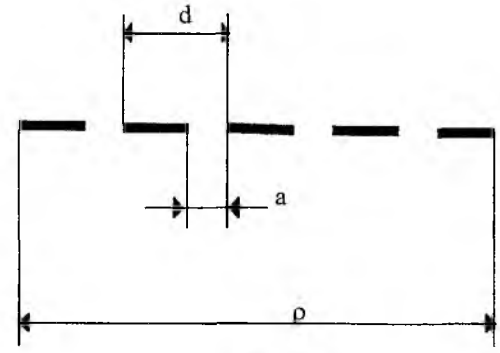

Рис. 3

Из графика видно, что чем больше высота, на которой создаются опорные источники, тем меньшее количество их необходимо.

В данной работе рассматривается возможность создания множества опорных источников с помощью многопучковой интерференции. Многопучковое излучение формируется с помощью непро-

зрачного экрана-маски с периодически расположенными равноразмерными отверстиями. Другими словами, экран представляет собой транспарант с периодом d и отверстиями a, ограниченный размером ρ (рис. 3).

Распределение интенсивности в дальней зоне в этом случае записывается известным выражением [2]:

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{\sin\left(\frac{nkd\theta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{kd\theta}{2}\right)} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{ka\theta}{2}\right)}{\frac{ka\theta}{2}} \right)^2, \qquad (2)$$

где I_0 – интенсивность в центре картины; n- количество отверстий в транспаранте; k=2π/λ-волновое число; θ – угол дифракции.

На рис. 4 представлено распределение интенсивности $I(\theta)$ в дальней зоне при многолучковой интерференции. При этом каждому максимуму интерференционной картины соответствует пространственное положение опорного источника. Характер результирующей интерференционной картины определяется параметрами транспаранта, поэтому путем их изменения можно варьировать числом и пространственным положением максимумов в главном лепестке распределения интенсивности.

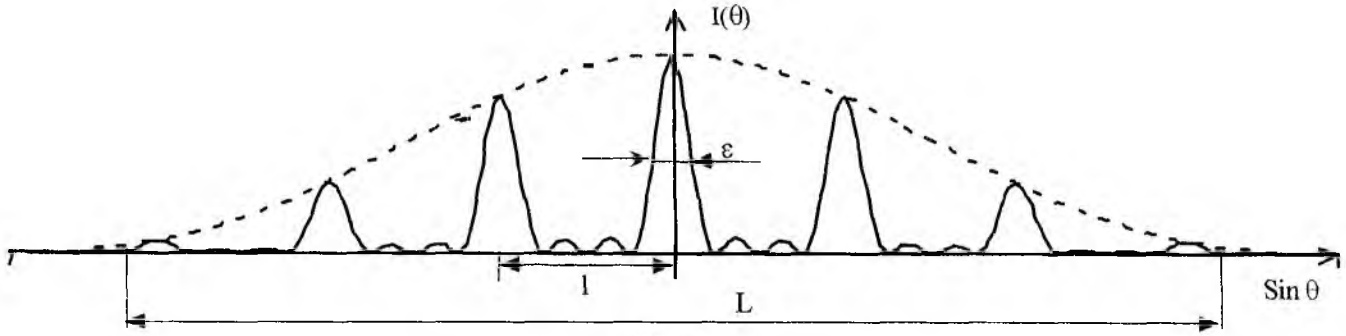

Рис. 4

Данный эффект и предлагается использовать в основе метода создания множества ОИ. Основные параметры распределения интенсивности (рис.4) находятся из выражений:

$$l = \frac{\lambda}{d} z_0 \qquad (3)$$

– расстояние между соседними максимумами интенсивности (расстояние между ОИ),

$$L = 2\frac{\lambda}{a} z_0 \qquad (4)$$

– ширина главного лепестка распределения (размер общей картины ОИ),

$$\varepsilon = 2\frac{\lambda}{\rho} z_0 \qquad (5)$$

– ширина максимумов интенсивности (диаметр ОИ),

$$N = \frac{L}{l} = 2\frac{d}{a} \qquad (6)$$

– общее количество максимумов (опорных источников).

Возможность создания на необходимом расстоянии z_0 требуемого количества N опорных источников диаметром ε на удалении l друг от друга была исследована на экспериментальной установке (рис. 5), где 1 – источник лазерного излучения; 2 – коллиматор; 3 – диафрагма; 4 – транспарант; 5 – экран с миллиметровой шкалой. В качестве источника излучения использовался лазер ЛГ-38. Параметры 3-х типов транспарантов представлены в таблице.

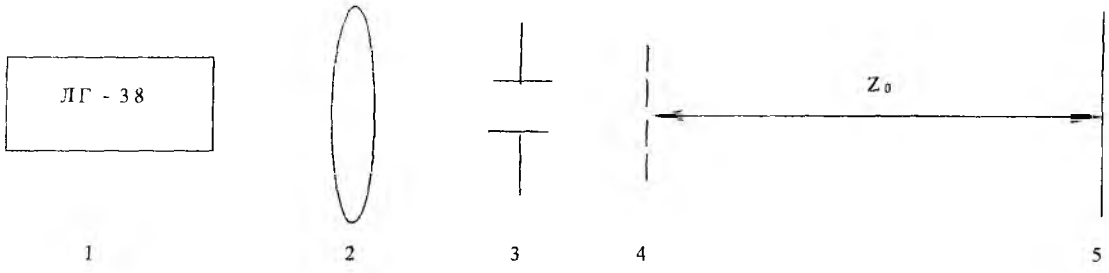

Рис. 5

Таблица

Параметры	а	б	в
d, мм	1	0,25	1
a, мм	0,8	0,16	0,4
ρ, мм	3	3	3

Размер диафрагмы (базы транспаранта ρ) выбирался из условия достижимости области дифракции Фраунгофера ($z_0 \geq \rho^2/\lambda$). Результаты эксперимента приведены на рис. 6. Они с достаточной степенью точности согласуются с машинным моделированием в соответствии с формулами (3-6). Была проведена оценка параметров транспаранта, необходимых для создания трех опорных источников ($N = 3$) на дальности $z_0 = 100$ м при r_0=0,005 м, диаметре апертуры $D = 0,2$ м. Диаметр ограничивающей диафрагмы (ρ) рассчитывался из условий обеспечения неразрешимости оптической системой отдельного ОИ ($1,22\lambda/r_0 \geq 2\lambda/\rho$). Результаты моделирования следующие: период транспаранта $d = 1,2$ см, размер отверстия $a = 0,84$ см, диаметр ограничивающей диафрагмы $\rho = 12$ см.

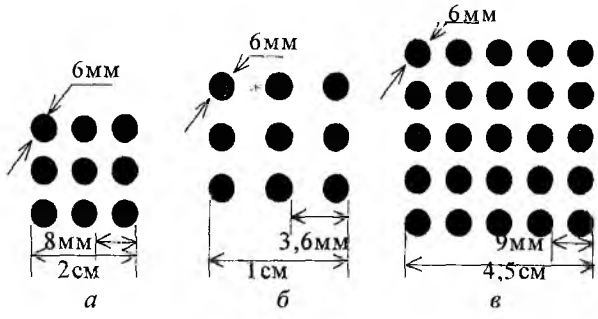

Рис. 6

Влияние атмосферной турбулентности на многопучковую интерференцию исследовано в [3]. Оно сводится в основном к некоторому искажению результирующей интерференционной картины, выражающемуся в расширении интерференционных полос и ухудшению контраста.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности создания опорных источников на основе многопучковой интерференции.

Список литературы: 1. *Gardner C.S.* Design and performanse analysis of adaptive optical telescopes using laser guide stars // Proceedings of the IEEE. 1990. Vol.78, №11. 2. *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. Пер. с англ. /Под ред. Матулевич Г.П. М.: Наука, 1973. 3. *Сухоруков А.П., Фадеев В.М., Шумилов Э.Н.* Влияние атмосферной турбулентности на многопучковую интерференцию // Оптика атмосферы. 1988. Т.01, №1. С. 59-66.

Харьковский военный университет
Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 18.12.2000